

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日                      2002年 9月 6日  
Date of Application:

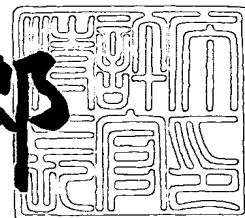
出願番号                      特願2002-261407  
Application Number:  
[ST. 10/C]:                      [JP 2002-261407]

出願人                      ソニー株式会社  
Applicant(s):

2003年 7月 9日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号    出証特2003-3054805

【書類名】 特許願

【整理番号】 0290511008

【提出日】 平成14年 9月 6日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
                                内

    【氏名】 奥山 浩之

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
                                内

    【氏名】 琵琶 剛志

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
                                内

    【氏名】 鈴木 淳

【特許出願人】

    【識別番号】 000002185

    【氏名又は名称】 ソニー株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100082762

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 杉浦 正知

    【電話番号】 03-3980-0339

【選任した代理人】

    【識別番号】 100120640

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 森 幸一

**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 043812**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【包括委任状番号】** 0201252**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体発光素子の製造方法、半導体発光素子、集積型半導体発光装置の製造方法、集積型半導体発光装置、画像表示装置の製造方法、画像表示装置、照明装置の製造方法および照明装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に第 1 導電型の第 1 の半導体層を成長させる工程と、  
上記第 1 の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、

上記成長マスクの上記開口部における上記第 1 の半導体層上に第 1 導電型の第 2 の半導体層を選択成長させる工程と、

上記成長マスクを除去する工程と、

上記第 2 の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第 2 導電型の第 3 の半導体層を順次成長させる工程とを有する

ことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 2】 上記成長マスクは酸化シリコン膜、窒化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜またはそれらの積層膜からなる

ことを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 3】 上記第 2 の半導体層は上記基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶層である

ことを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 4】 上記結晶層はウルツ鉱型の結晶構造を有する

ことを特徴とする請求項 3 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 5】 上記結晶層は窒化物系 III-V 族化合物半導体からなる

ことを特徴とする請求項 3 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 6】 上記第 1 の半導体層、上記第 2 の半導体層、上記活性層および上記第 3 の半導体層は窒化物系 III-V 族化合物半導体からなる

ことを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 7】 上記傾斜結晶面は S 面である

ことを特徴とする請求項 4 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 8】 上記活性層および上記第 3 の半導体層を含む成長層の厚さの少なくとも 90%以上を  $10\ \mu\text{m/h}$  以上の成長速度で成長させる

ことを特徴とする請求項 7 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 9】 上記結晶層は S 面を上記傾斜結晶面とする六角錐状の形状を有する

ことを特徴とする請求項 4 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 10】 上記第 2 の半導体層上の上記第 3 の半導体層の主として S 面上に第 2 導電型側の電極を形成する工程を有する

ことを特徴とする請求項 9 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 11】 上記結晶層は S 面を上記傾斜結晶面とし、上面を C 面とする六角錐台状の形状を有する

ことを特徴とする請求項 4 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 12】 上記第 2 の半導体層上の上記第 3 の半導体層の C 面上に第 2 導電型側の電極を形成する工程を有する

ことを特徴とする請求項 11 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 13】 上記基板の主面は C 面である

ことを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 14】 上記第 2 の半導体層を上記成長マスクの上記開口部よりも横方向に広がるように選択成長させる

ことを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 15】 一主面にこの主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、

少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、

上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、

上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する半導体発光素子であって、

上記第 2 の電極の大きさが、上記活性層および上記第 2 導電型の半導体層が積層された上記結晶部の大きさの 50%以下である

ことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 16】 上記結晶部はウルツ鉱型の結晶構造を有する

ことを特徴とする請求項 15 記載の半導体発光素子。

【請求項 17】 上記結晶部は窒化物系 III-V 族化合物半導体からなる

ことを特徴とする請求項 15 記載の半導体発光素子。

【請求項 18】 上記第 1 導電型の半導体層、上記活性層および上記第 2 導電型の半導体層は窒化物系 III-V 族化合物半導体からなる

ことを特徴とする請求項 15 記載の半導体発光素子。

【請求項 19】 上記傾斜結晶面は S 面である

ことを特徴とする請求項 15 記載の半導体発光素子。

【請求項 20】 上記結晶部は S 面を上記傾斜結晶面とする六角錐状の形状を有する

ことを特徴とする請求項 15 記載の半導体発光素子。

【請求項 21】 上記結晶部は S 面を上記傾斜結晶面とし、上面を C 面とする六角錐台状の形状を有する

ことを特徴とする請求項 15 記載の半導体発光素子。

【請求項 22】 基板上に第 1 導電型の第 1 の半導体層を成長させる工程と、

上記第 1 の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、

上記成長マスクの上記開口部における上記第 1 の半導体層上に第 1 導電型の第 2 の半導体層を選択成長させる工程と、

上記成長マスクを除去する工程と、

上記第 2 の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第 2 導電型の第 3 の半導体層を順次成長させる工程とを有する

ことを特徴とする集積型半導体発光装置の製造方法。

【請求項 23】 一主面にこの主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、

少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性

層および第 2 導電型の半導体層と、

上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、

上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された集積型半導体発光装置であって、

上記第 2 の電極の大きさが、上記活性層および上記第 2 導電型の半導体層が積層された上記結晶部の大きさの 50% 以下である

ことを特徴とする集積型半導体発光装置。

【請求項 24】 基板上に第 1 導電型の第 1 の半導体層を成長させる工程と

、  
上記第 1 の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、

上記成長マスクの上記開口部における上記第 1 の半導体層上に第 1 導電型の第 2 の半導体層を選択成長させる工程と、

上記成長マスクを除去する工程と、

上記第 2 の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第 2 導電型の第 3 の半導体層を順次成長させる工程とを有する

ことを特徴とする画像表示装置の製造方法。

【請求項 25】 一主面にこの主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、

少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、

上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、

上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する画像表示装置であって、

上記第 2 の電極の大きさが、上記活性層および上記第 2 導電型の半導体層が積層された上記結晶部の大きさの 50% 以下である

ことを特徴とする画像表示装置。

【請求項 26】 基板上に第 1 導電型の第 1 の半導体層を成長させる工程と

、  
上記第1の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、

上記成長マスクの上記開口部における上記第1の半導体層上に第1導電型の第2の半導体層を選択成長させる工程と、

上記成長マスクを除去する工程と、

上記第2の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第2導電型の第3の半導体層を順次成長させる工程とを有する

ことを特徴とする照明装置の製造方法。

【請求項27】 一主面にこの主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、

少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、

上記第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、

上記結晶部上の上記第2導電型の半導体層上に設けられ、上記第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する照明装置であって、

上記第2の電極の大きさが、上記活性層および上記第2導電型の半導体層が積層された上記結晶部の大きさの50%以下である

ことを特徴とする照明装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、半導体発光素子の製造方法、半導体発光素子、集積型半導体発光装置の製造方法、集積型半導体発光装置、画像表示装置の製造方法、画像表示装置、照明装置の製造方法および照明装置に関し、特に、窒化物系III-V族化合物半導体を用いた発光ダイオードに適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、半導体発光素子として、サファイア基板上にn型GaN層を成長させ、



その上に所定の開口部を有する成長マスクを形成し、この成長マスクの開口部における n 型 GaN 層上に基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する六角錐形状の n 型 GaN 層を選択成長し、その傾斜結晶面上に活性層や p 型 GaN 層などを成長させた発光ダイオードが、本出願人により提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。この発光ダイオードによれば、素子構造を形成する層への基板側からの貫通転位の伝播を抑制することができ、それらの層の結晶性を良好にすることができることにより、高い発光効率を得ることができる。

#### 【0003】

##### 【特許文献 1】

国際公開第 02/07231 号パンフレット（第 47-50 頁、第 3 図～第 9 図）

#### 【0004】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、本発明者の知見によれば、上述の選択成長用の成長マスクの材料としては通常、酸化シリコン（SiO<sub>2</sub>）や窒化シリコン（SiN）が用いられるところ、n 型 GaN 層の選択成長やその後の p 型 GaN 層の成長は 1000℃前後の高温で行われるため、この成長時に成長マスクの表面からシリコン（Si）や酸素（O）が脱離し、これがその付近の成長層に取り込まれるという現象が起こる。この現象が及ぼす影響は p 型 GaN 層の成長時に特に顕著であり、GaN に対して n 型不純物として働く Si が、p 型 GaN 層の成長時に成長層に取り込まれると、p 型になりやすく、p 型になったとしても、正孔濃度、移動度ともに激減することが明らかとなり、これが発光ダイオードの発光効率の向上を阻害する原因であることが判明した。

#### 【0005】

更に、この成長マスクの開口部を形成する際にはフォトリソグラフィ工程を必要とするが、その際にはレジストをマスク面に密着させて部分的に除去する工程が必要である。ところが、この除去時には、レジストが成長マスクの微小な間隙に残りやすく、その除去は極めて難しい。このため、後の高温成長時に、この残存レジストが不純物源となって p 型 GaN 層などの特性を悪化させることもあ

る。

#### 【0006】

したがって、この発明が解決しようとする課題は、発光効率が大幅に向上した半導体発光素子を容易に製造することができる半導体発光素子の製造方法を提供することにある。

この発明が解決しようとする他の課題は、発光効率が大幅に向上した半導体発光素子を提供することにある。

この発明が解決しようとする他の課題は、発光効率が大幅に向上した画像表示装置を容易に製造することができる画像表示装置の製造方法および発光効率が大幅に向上した画像表示装置を提供することにある。

この発明が解決しようとする更に他の課題は、発光効率が大幅に向上した照明装置を容易に製造することができる照明装置の製造方法および発光効率が大幅に向上した照明装置を提供することにある。

#### 【0007】

##### 【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、この発明の第1の発明は、

基板上に第1導電型の第1の半導体層を成長させる工程と、

第1の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と

、  
成長マスクの開口部における第1の半導体層上に第1導電型の第2の半導体層を選択成長させる工程と、

成長マスクを除去する工程と、

第2の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第2導電型の第3の半導体層を順次成長させる工程とを有する

ことを特徴とする半導体発光素子の製造方法である。

#### 【0008】

ここで、成長マスクは、第2の半導体層の成長時に、この成長マスク上の核生成が第1の半導体層上の核生成に比べて十分に少なく、選択成長が可能である限り、基本的にはどのような材料で形成してもよいが、典型的には、酸化シリコン

( $\text{SiO}_2$ ) 膜、窒化シリコン ( $\text{SiN}$  (特に、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ )) 膜、酸化窒化シリコン ( $\text{SiON}$ ) 膜またはそれらの積層膜からなる。成長マスクとしては、このほかに、酸化アルミニウム ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 膜やタングステン ( $\text{W}$ ) 膜や上記の膜との積層膜などを用いてもよい。

#### 【0009】

基板は、第1の半導体層、第2の半導体層、活性層、第3の半導体層などを良好な結晶性で成長させることが可能である限り、基本的にはどのような材料のものを用いてもよい。具体的には、サファイア ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (C面、A面、R面を含む)、 $\text{SiC}$  (6H、4H、3Cを含む)、窒化物系 III-V 族化合物半導体 ( $\text{GaN}$ 、 $\text{InAlGaN}$ 、 $\text{AlN}$  など)、 $\text{Si}$ 、 $\text{ZnS}$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{LiMgO}$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  などからなる基板を用いることができ、好適には、これらの材料からなる六方晶基板または立方晶基板、より好適には六方晶基板を用いる。例えば、第1の半導体層、第2の半導体層、活性層、第3の半導体層が窒化物系 III-V 族化合物半導体からなる場合には、C面を主面としたサファイア基板を用いることができる。ただし、ここで言うC面には、これに対して  $5\sim 6^\circ$  程度まで傾いていて実質的にC面とみなすことができる結晶面も含むものとする。

#### 【0010】

選択成長される第2の半導体層は、典型的には、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する結晶層である。第1の半導体層、第2の半導体層あるいは結晶層、活性層および第3の半導体層の材料としては、基本的には、どのような半導体を用いてもよいが、典型的には、ウルツ鉱型の結晶構造を有する。このようなウルツ鉱型の結晶構造を有する半導体としては、窒化物系 III-V 族化合物半導体のほか、 $\text{BeMgZnCdS}$  系化合物半導体や  $\text{BeMgZnCdO}$  系化合物半導体などの III-V 族化合物半導体などが挙げられる。窒化物系 III-V 族化合物半導体は、最も一般的には  $\text{Al}_x\text{B}_y\text{Ga}_{1-x-y-z}\text{In}_z\text{As}_u\text{N}_{1-u-v}\text{P}_v$  (ただし、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $0 \leq u \leq 1$ 、 $0 \leq v \leq 1$ 、 $0 \leq x+y+z < 1$ 、 $0 \leq u+v < 1$ ) からなり、より具体的には  $\text{Al}_x\text{B}_y\text{Ga}_{1-x-y-z}\text{In}_z\text{N}$  (ただし、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $0$

$\leq x + y + z < 1$ ) からなり、典型的には  $Al_x Ga_{1-x-z} In_z N$  (ただし、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ ) からなる。窒化物系 III-V 族化合物半導体の具体例を挙げると、 $GaN$ 、 $InN$ 、 $AlN$ 、 $AlGaInN$ 、 $InGaInN$ 、 $AlGaInN$  などである。この場合、傾斜結晶面は、典型的には S 面 (特に S+面) である。ただし、ここで言う S 面には、これに対して  $5 \sim 6^\circ$  程度まで傾いていて実質的に S 面とみなすことができる結晶面も含むものとする。

### 【0011】

第2の半導体層である結晶層は、典型的には、S面を傾斜結晶面とする六角錐状の形状、あるいは、S面を傾斜結晶面とし、上面をC面とする六角錐台状の形状を有する。第2の半導体層上には第2導電型側の電極が形成されるが、前者の場合には、典型的には、第2の半導体層上の第3の半導体層の主としてS面 (傾斜結晶面) 上にこの電極を形成し、後者の場合には、典型的には、第2の半導体層上の第3の半導体層のC面 (六角錐台の上面) 上にこの電極を形成し、好適には、一般に結晶性が劣る、六角錐台の上面の外周の角部を避けて形成する。

第2の半導体層である結晶層は、例えば、一方向に延在するストライプ形状であってもよい。

### 【0012】

窒化物系 III-V 族化合物半導体の成長においては、成長面に比較的 S 面、C 面が出やすいが、S 面が出ているときには、その成長層の厚さの大部分、例えば 90% 以上の成長速度 (ここで言う成長速度は原料供給量を指す。すなわち、成長する単位面積あたりの正味の窒化物系 III-V 族化合物半導体の成長速度である。したがって、C 面に成長する場合はその成長速度が等しいが、S 面のような傾斜した面に成長する場合には注意を要する。) を  $10 \mu m/h$  とすれば、S 面上にも成長する。しかしながら、成長速度を  $10 \mu m/h$  よりも小さく、例えば  $4 \mu m/h$  とすると、S 面上の成長速度よりも C 面上の成長速度が極めて速くなり、S 面上に必要な厚さの層を成長させることが難しくなる。そこで、窒化物系 III-V 族化合物半導体からなる活性層および第3の半導体層を含む成長層を成長させる場合には、好適には、その厚さの少なくとも 90% 以上を  $10 \mu m/h$  以上の成長速度で成長させる。一方、C 面上の成長の際には、成長速度を

10  $\mu\text{m}/\text{h}$  以上にすると、逆にピットが大量に出現することになり、好ましくない。したがって、C面上の成長の際には、好適には、成長速度を10  $\mu\text{m}/\text{h}$  より遅くする。

#### 【0013】

第2の半導体層は、典型的には、成長マスクの開口部よりも横方向に広がるように選択成長させるが、必ずしもそのようにする必要はなく、開口部に収まるようにしてもよい。

#### 【0014】

第1の半導体層、第2の半導体層、活性層および第3の半導体層の成長方法としては、例えば、有機金属化学気相成長(MOCVD)、ハイドライド気相エピタキシャル成長またはハライド気相エピタキシャル成長(HVPE)などを用いることができる。

#### 【0015】

この発明の第2の発明は、

一主面にこの主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、

少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、

第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、

結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する半導体発光素子であって、

第2の電極の大きさが、活性層および第2導電型の半導体層が積層された結晶部の大きさの50%以下である

ことを特徴とするものである。

#### 【0016】

ここで、第2の電極の大きさは、好適には、活性層および第2導電型の半導体層が積層された結晶部の大きさの約33%以下に選ばれる。

#### 【0017】

この発明の第3の発明は、

基板上に第 1 導電型の第 1 の半導体層を成長させる工程と、  
第 1 の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、  
成長マスクの開口部における第 1 の半導体層上に第 1 導電型の第 2 の半導体層を選択成長させる工程と、  
成長マスクを除去する工程と、  
第 2 の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第 2 導電型の第 3 の半導体層を順次成長させる工程とを有することを特徴とする集積型半導体発光装置の製造方法である。

**【 0 0 1 8 】**

ここで、集積型半導体発光装置はその用途を問わないが、典型的な用途を挙げると、画像表示装置や照明装置などである。

**【 0 0 1 9 】**

この発明の第 4 の発明は、  
一主面にこの主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、  
少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、  
第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、  
結晶部上の第 2 導電型の半導体層上に設けられ、第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された集積型半導体発光装置であって、  
第 2 の電極の大きさが、活性層および第 2 導電型の半導体層が積層された結晶部の大きさの 5 0 % 以下であることを特徴とするものである。

**【 0 0 2 0 】**

ここで、第 2 の電極の大きさは、好適には、活性層および第 2 導電型の半導体層が積層された結晶部の大きさの約 3 3 % 以下に選ばれる。

**【 0 0 2 1 】**

この発明の第 5 の発明は、  
基板上に第 1 導電型の第 1 の半導体層を成長させる工程と、  
第 1 の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、  
成長マスクの開口部における第 1 の半導体層上に第 1 導電型の第 2 の半導体層を選択成長させる工程と、  
成長マスクを除去する工程と、  
第 2 の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第 2 導電型の第 3 の半導体層を順次成長させる工程とを有することを特徴とする画像表示装置の製造方法である。

#### 【0022】

この発明の第 6 の発明は、  
一主面にこの主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、  
少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、  
第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、  
結晶部上の第 2 導電型の半導体層上に設けられ、第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する画像表示装置であって、  
第 2 の電極の大きさが、活性層および第 2 導電型の半導体層が積層された結晶部の大きさの 50% 以下であることを特徴とするものである。

#### 【0023】

ここで、第 2 の電極の大きさは、好適には、活性層および第 2 導電型の半導体層が積層された結晶部の大きさの約 33% 以下に選ばれる。

#### 【0024】

この発明の第 7 の発明は、  
基板上に第 1 導電型の第 1 の半導体層を成長させる工程と、  
第 1 の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と

成長マスクの開口部における第 1 の半導体層上に第 1 導電型の第 2 の半導体層を選択成長させる工程と、

成長マスクを除去する工程と、

第 2 の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第 2 導電型の第 3 の半導体層を順次成長させる工程とを有する

ことを特徴とする照明装置の製造方法である。

#### 【 0 0 2 5 】

この発明の第 8 の発明は、

一主面にこの主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、

少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、

第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、

結晶部上の第 2 導電型の半導体層上に設けられ、第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する照明装置であって、

第 2 の電極の大きさが、活性層および第 2 導電型の半導体層が積層された結晶部の大きさの 5 0 % 以下である

ことを特徴とするものである。

#### 【 0 0 2 6 】

ここで、第 2 の電極の大きさは、好適には、活性層および第 2 導電型の半導体層が積層された結晶部の大きさの約 3 3 % 以下に選ばれる。

この発明の第 2 ～ 第 8 の発明においては、その性質に反しない限り、第 1 の発明に関連して説明したことが成立する。

#### 【 0 0 2 7 】

上述のように構成されたこの発明の第 1、第 3、第 5 および第 7 の発明によれば、成長マスクを除去してから活性層および第 2 導電型の第 3 の半導体層を成長させることにより、成長マスクとして酸化シリコン膜や窒化シリコン膜を用いたときに、成長マスクから脱離するシリコンが第 3 の半導体層に取り込まれる問題



が本質的に存在しない。更に、レジストなどによる汚染の問題も存在しない。

#### 【0028】

また、上述のように構成されたこの発明の第2、第4、第6および第8の発明によれば、第2の電極の大きさが、活性層および第2導電型の半導体層が積層された結晶部の大きさの50%以下であることにより、第2導電型の半導体層に形成される傾斜結晶面の下部に異常成長部が発生しても、第2の電極がこの部分にかからないようにすることができる。

#### 【0029】

##### 【発明の実施の形態】

以下、この発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。なお、実施形態の全図において、同一または対応する部分には同一の符号を付す。

図1～図6はこの発明の第1の実施形態によるGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオードの製造方法を工程順に示し、各図のAは斜視図、Bは断面図である。また、図7はこのGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオードの完成状態を示す断面図である。

#### 【0030】

この第1の実施形態においては、図1に示すように、まず、例えば主面がC<sup>+</sup>面であるサファイア基板11を用意し、サーマルクリーニングなどによりその表面を清浄化した後、このサファイア基板11上に、例えば有機金属化学気相成長(MOCVD)法により、n型不純物として例えばSiがドーパされたn型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層12を成長させる。このn型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層12は、可能な限り結晶欠陥、特に貫通転位が少ないものが望ましく、その厚さは例えば2μm程度以上あれば通常は足りる。低欠陥のn型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層12の形成方法としては種々の方法があるが、一般的な方法として、サファイア基板11上に、まず例えば500℃程度の低温でGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>バッファ層やAlNバッファ層(図示せず)を成長させ、その後1000℃程度まで昇温して結晶化してから、その上にn型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層12を成長させる方法がある。

#### 【0031】

次に、n型Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層12の全面に例えばCVD法、真空蒸着法、スパッタリング法などにより、例えば厚さが100nm程度のSiO<sub>2</sub>膜を形成した後、その

上にリソグラフィーにより所定形状のレジストパターン（図示せず）を形成し、このレジストパターンをマスクとして、例えばフッ酸系のエッチング液を用いたウエットエッチング、または、 $\text{CF}_4$  や  $\text{CHF}_3$  などのフッ素を含むエッチングガスを用いた R I E 法により  $\text{SiO}_2$  膜をエッチングし、パターンニングして、素子形成位置に所定の開口部 1 3 を有する成長マスク 1 4 を形成する。この開口部 1 3 の形状は、円形またはその一辺が  $\langle 11-20 \rangle$  方向に平行な六角形とするのが好ましいが、ここでは一例として円形とする。この開口部 1 3 の直径は必要に応じて決められるが、例えば  $10\ \mu\text{m}$  程度である。

#### 【 0 0 3 2 】

次に、図 2 に示すように、この成長マスク 1 4 を用い、その開口部 1 3 における n 型 G a N 層 1 2 上に n 型不純物として例えば S i がドーピングされた n 型 G a N 層 1 5 を選択成長させる。この選択成長により、六角錐形状の n 型 G a N 層 1 5 が得られる。この六角錐形状の n 型 G a N 層 1 5 の 6 面は、サファイア基板 1 1 の主面に対して傾斜した S 面からなる。この六角錐形状の n 型 G a N 層 1 5 の大きさは、必要に応じて決められるが、この場合には、開口部 1 3 の直径より少し大きく選ばれる。

#### 【 0 0 3 3 】

次に、図 3 に示すように、成長マスク 1 4 を例えばフッ酸系のエッチング液を用いたウエットエッチング、または、 $\text{CF}_4$  や  $\text{CHF}_3$  などのフッ素を含むエッチングガスを用いた R I E 法によりエッチング除去する。このようにして、n 型 G a N 層 1 2 上に六角錐形状の n 型 G a N 層 1 5 が形成された G a N 加工基板が得られる。

#### 【 0 0 3 4 】

次に、この G a N 加工基板を M O C V D 装置の反応管に入れ、この反応管内において例えば 1 ～ 2 分間サーマルクリーニングを行って表面の清浄化を行い、引き続いて、図 4 に示すように、この G a N 加工基板上に、例えば I n G a N 系の活性層 1 6 および p 型不純物として例えば M g がドーピングされた p 型 G a N 層 1 7 を、好適には  $10\ \mu\text{m/h}$  以上の成長速度で順次成長させる。これによって、六角錐形状の n 型 G a N 層 1 5 とその傾斜結晶面に成長した活性層 1 6 および p 型

GaN層 17とにより、ダブルヘテロ構造の発光ダイオード構造が形成される。活性層 16 および p 型 GaN 層 17 の厚さは必要に応じて決められるが、活性層 16 の厚さは例えば 3 nm、p 型 GaN 層 17 の厚さは例えば 0.2  $\mu$ m である。これらの GaN 系半導体層の成長温度は、例えば、活性層 16 は 650 ~ 800 °C、p 型 GaN 層 17 は 900 ~ 1050 °C とする。活性層 16 は、例えば、単一の InGa 層からなるものであっても、例えば In 組成が互いに異なる二つの InGa 層を交互に積層した多重量子井戸構造であってもよく、それらの In 組成は、発光波長をどの波長に設定するかに応じて決められる。また、p 型 GaN 層 17 においては、好適には、その最上層の Mg 濃度を、後述の p 側電極と良好なオーミック接触を取ることができるように上昇させる。ただし、p 型 GaN 層 17 上に、オーミック接触をより取り易い、p 型不純物として例えば Mg がドーピングされた p 型 InGa 層を p 型コンタクト層として成長させ、その上に p 側電極を形成してもよい。また、必要に応じて、活性層 16 を成長させる直前に、GaN 加工基板上にまず薄く、n 型不純物として例えば Si がドーピングされた n 型 GaN 層を成長させ、引き続いてその上に活性層 16 を成長させるようにしてもよい。このようにすれば、活性層 16 を n 型 GaN 層の清浄な面上に成長させることができるので、結晶性の良好な活性層 16 を確実に得ることができる。この場合、この n 型 GaN 層の成長に際しては、まず 850 °C 程度の成長温度から成長を始め、その後徐々に成長温度を上昇させて 950 °C 程度に設定することが良いことが、経験的に見出されている。また、上記のサーマルクリーニング時の熱処理効果で六角錐形状の n 型 GaN 層 15 の頂点が少し丸みを帯びることにより、その上に成長する活性層 16 および p 型 GaN 層 17 の頂点も丸みを帯び、したがって p 型 GaN 層 17 上に形成される p 側電極はこの丸みを帯びた頂点を含む領域の p 型 GaN 層 17 上に形成されることになるため、鋭い頂点を含む領域の p 型 GaN 層 17 上に p 側電極を形成する場合に比べて、発光ダイオードの動作時に発生するこの頂点近傍の電界集中などに起因する p 側電極の経時劣化の問題をより緩和することができる。

### 【0035】

ここで重要なことは、活性層 16 および p 型 GaN 層 17 の成長時には、成長

マスク 14 が存在しないことである。このため、成長マスク 14 として  $\text{SiO}_2$  膜や  $\text{SiN}$  膜が用いられても、p 型  $\text{GaN}$  層 17 の成長時に、その  $\text{Si}$  が脱離して成長層に取り込まれる問題が本質的に存在しない。また、レジストによる汚染の問題も存在しない。

なお、上記の  $\text{GaN}$  系半導体層の成長を  $1000^\circ\text{C}$  程度の成長温度で行うときは、一般に、 $\text{Ga}$  の原料の供給量を大幅に増やす（例えば、 $100\mu\text{mol}/\text{min}$  以上）必要がある。

#### 【0036】

上記の  $\text{GaN}$  系半導体層の成長原料は、例えば、 $\text{Ga}$  の原料としてはトリメチルガリウム ( $(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$ 、TMG)、 $\text{Al}$  の原料としてはトリメチルアルミニウム ( $(\text{CH}_3)_3\text{Al}$ 、TMA)、 $\text{In}$  の原料としてはトリメチルインジウム ( $(\text{CH}_3)_3\text{In}$ 、TMI) を、 $\text{N}$  の原料としては  $\text{NH}_3$  を用いる。ドーパントについては、n 型ドーパントとしては例えばシラン ( $\text{SiH}_4$ ) を、p 型ドーパントとしては例えばビス=メチルシクロペンタジエニルマグネシウム ( $(\text{CH}_3\text{C}_5\text{H}_4)_2\text{Mg}$ ) あるいはビス=シクロペンタジエニルマグネシウム ( $(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Mg}$ ) を用いる。

#### 【0037】

また、上記の  $\text{GaN}$  系半導体層の成長時のキャリアガス雰囲気としては、n 型  $\text{GaN}$  層 12 および n 型  $\text{GaN}$  層 15 は  $\text{N}_2$  と  $\text{H}_2$  との混合ガス、活性層 16 は  $\text{N}_2$  ガス雰囲気、p 型  $\text{GaN}$  層 17 は  $\text{N}_2$  と  $\text{H}_2$  との混合ガスを用いる。この場合、活性層 16 の成長ではキャリアガス雰囲気を  $\text{N}_2$  雰囲気としており、キャリアガス雰囲気に  $\text{H}_2$  が含まれないので、 $\text{In}$  が脱離するのを抑えることができ、活性層 16 の劣化を防止することができる。また、p 型  $\text{GaN}$  層 17 の成長時にはキャリアガス雰囲気を  $\text{N}_2$  と  $\text{H}_2$  との混合ガス雰囲気としているので、これらの p 型層を良好な結晶性で成長させることができる。

#### 【0038】

次に、上述のようにして  $\text{GaN}$  系半導体層を成長させたサファイア基板 11 を MOCVD 装置から取り出す。

次に、リソグラフィーにより、六角錐形状の n 型  $\text{GaN}$  層 15 と別の部位の n

側電極形成領域を除いた領域の p 型 G a N 層 1 7 の表面を覆うレジストパターン（図示せず）を形成する。

次に、このレジストパターンをマスクとして例えば R I E 法により p 型 G a N 層 1 7 および活性層 1 6 をエッチングして開口部 1 8 を形成し、この開口部 1 8 に n 型 G a N 層 1 2 を露出させる。この後、レジストパターンを除去する。

#### 【 0 0 3 9 】

次に、基板全面に例えば真空蒸着法により T i 膜、P t 膜および A u 膜を順次形成した後、その上にリソグラフィーにより所定形状のレジストパターンを形成し、このレジストパターンをマスクとして T i 膜、P t 膜および A u 膜をエッチングする。これによって、p 型 G a N 層 1 7 および活性層 1 6 の開口 1 8 を通じて n 型 G a N 層 1 2 にコンタクトした T i / P t / A u 構造の n 側電極 1 9 が形成される。

#### 【 0 0 4 0 】

次に、同様なプロセスで、六角錐形状の n 型 G a N 層 1 5 の上に成長した活性層 1 6 および p 型 G a N 層 1 7 の頂点を含む領域に、例えば N i / P t / A u 構造の p 側電極 2 0 を形成する。

#### 【 0 0 4 1 】

この後、上述のようにして発光ダイオード構造が形成された基板を R I E によるエッチングやダイサーなどによりチップ化する。チップ化された G a N 系発光ダイオードを図 6 に示す。図 7 に完成状態の G a N 系発光ダイオードの断面図を示す。

#### 【 0 0 4 2 】

このようにして製造された G a N 系発光ダイオードの p 側電極 2 0 と n 側電極 1 9 との間に電流を流して駆動したところ、活性層 1 6 の I n 組成に応じて発光波長 3 8 0 ～ 6 2 0 n m の範囲で、サファイア基板 1 1 を通した発光を確認することができた。

#### 【 0 0 4 3 】

また、この G a N 系発光ダイオードの電流－光特性を図 8 に示す。図 8 には、比較のために、六角錐形状の n 型 G a N 層を形成しないで G a N 系半導体層を成

長ささせることにより素子構造を形成する従来の通常の GaN 系発光ダイオードの電流－光特性も併せて示す。図 8 から明らかなように、この第 1 の実施形態による GaN 系発光ダイオードは、従来の GaN 系発光ダイオードと比べて、発光効率が約 2 ～ 3 倍に増加している。これは、素子構造を六角錐形状にしたことにより活性層 16 からの発光を外部に効率よく取り出すことができることに加えて、成長マスク 14 からの Si の脱離により p 型化が阻害される問題がないことにより、p 型 GaN 層 17 の低比抵抗化を図ることができたことによるものと考えられる。

#### 【0044】

図 9、図 10 および図 11 は、六角錐形状に成長した p 型 GaN 層 17 の大きさを約  $12\ \mu\text{m}$  とし、p 側電極 20 の大きさを  $2\sim 12\ \mu\text{m}$  の範囲で  $2\ \mu\text{m}$  刻みに変えた GaN 系発光ダイオードの発光特性を調べた結果を示す。ここで、図 9 は電流－電圧特性、図 10 は電流－光出力特性、図 11 は電極サイズと発光効率との関係を示す。図 9 ～ 図 11 より、発光特性の観点からの、p 側電極 20 の最適なサイズは  $6\ \mu\text{m}$  程度以下、言い換えると六角錐形状の n 型 GaN 層 15 のサイズの 50 % 以下であることが分かる。したがって、この実験データより、p 側電極 20 のサイズを六角錐形状の p 型 GaN 層 17 のサイズの 50 % 以下、面積比で 25 % 以下にすれば、発光効率が極大になる。更に、図 11 より、p 側電極 20 のサイズを六角錐形状の p 型 GaN 層 17 のサイズの約 33 % 以下、面積比で約 11 % 以下にすれば、発光効率をより高くすることができる。

#### 【0045】

このように p 側電極 20 のサイズを六角錐形状の p 型 GaN 層 17 のサイズの 50 % 以下にすることにより発光効率が高くなる理由は、次のように考えることができる。すなわち、図 12 A は p 型 GaN 層 17 の成長直後の様子を示すが、この図から分かるように、六角錐形状の p 型 GaN 層 17 の下部にピット 21 が存在し、その近傍に異常成長部 22 が形成されている。この異常成長部 22 の上に p 側電極 20 が形成されると、その接触特性が悪くなり、ひいては発光効率の低下をもたらす。そこで、図 12 B に示すように、p 側電極 20 のサイズを六角錐形状の p 型 GaN 層 17 のサイズの 50 % 以下にすると、p 側電極 20 がこの

異常成長部 22 にかからないようにすることができる。

#### 【0046】

以上のように、この第 1 の実施形態によれば、 $\text{SiO}_2$  からなる成長マスク 14 の開口部 13 における n 型 GaN 層 12 上に六角錐形状の n 型 GaN 層 15 を選択成長させてから成長マスク 14 をエッチング除去し、その後に活性層 16 および p 型 GaN 層 17 を成長させるようにしていることにより、p 型 GaN 層 17 の成長時に成長マスク 14 から Si が脱離して成長層に取り込まれる問題が存在しない。このため、十分に Mg がドーピングされた低比抵抗の p 型 GaN 層 17 を得ることができ、ひいては GaN 系発光ダイオードの発光効率の向上を図ることができる。また、p 側電極 20 のサイズを六角錐形状の p 型 GaN 層 17 のサイズの 50% 以下にすることにより、GaN 系発光ダイオードの発光効率を極大化することができ、発光効率の大幅な向上を図ることができる。

#### 【0047】

更に、n 側電極 19 の形成のために p 型 GaN 層 17 および活性層 16 に RIE のようなドライエッチングにより開口部 18 を形成したり、集積型半導体発光装置を製造する場合に素子間を分離するために p 型 GaN 層 17 および活性層 16 を RIE のようなドライエッチングによりエッチングしたりすると、その部分の活性層 16 に損傷が発生するのを避けることが難しいが、この損傷が発生する部分は実際に発光が起きる部分（p 側電極 20 とその近傍の  $2 \sim 5 \mu\text{m}$  の範囲）から十分に離れているため、発光特性に何ら悪影響を及ぼさない。

#### 【0048】

次に、この発明の第 2 の実施形態による GaN 系発光ダイオードについて説明する。

この第 2 の実施形態においては、図 13 に示すように、p 側電極 20 を、六角錐形状の p 型 GaN 層 17 の頂点の近傍には形成せず、その中腹部にのみ形成する。より具体的には、p 側電極 20 のサイズを六角錐形状の p 型 GaN 層 17 のサイズの 50% 以下にし、かつ頂点近傍には p 側電極 20 が形成されないようにする。これは、原子間力顕微鏡（AFM）による観測結果によれば、六角錐形状の p 型 GaN 層 17 の頂点の近傍の部分の結晶性は他の部分に比べて悪いことか

ら、この結晶性の悪い頂点の近傍を避けて p 側電極 2 0 を形成するとともに、第 1 の実施形態で述べたように p 側電極 2 0 のサイズを六角錐形状の p 型 G a N 層 1 7 のサイズの 5 0 % 以下にすることにより、異常成長部 2 2 に p 側電極 2 0 がつかないようにすることができるからである。

#### 【 0 0 4 9 】

この第 2 の実施形態によれば、第 1 の実施形態と同様な利点を得ることができるほか、p 側電極 2 0 のサイズを六角錐形状の p 型 G a N 層 1 7 のサイズの 5 0 % 以下にし、かつ頂点近傍には p 側電極 2 0 が形成されないようにしていることにより、G a N 系発光ダイオードの発光効率のより一層の向上を図ることができる。

#### 【 0 0 5 0 】

次に、この発明の第 3 の実施形態による G a N 系発光ダイオードについて説明する。

この第 3 の実施形態においては、第 1 の実施形態と同様に工程を進めて p 型 G a N 層 1 7 まで成長させた後、p 型 G a N 層 1 7 上に p 側電極 2 0 を形成する。次に、サファイア基板 1 1 の裏面側から例えばエキシマーレーザなどによるレーザビームを照射することにより、サファイア基板 1 1 から、n 型 G a N 層 1 2 から上の部分を剥離する。次に、このようにして剥離された n 型 G a N 層 1 2 の裏面をエッチングなどにより平坦化した後、図 1 4 に示すように、n 型 G a N 層 1 2 の裏面に n 側電極 1 9 を形成する。この n 側電極 1 9 は例えば I T O などからなる透明電極としてもよく、この場合は六角錐形状の部分に対応する部分を含む n 型 G a N 層 1 2 の裏面の広い面積にわたって n 側電極 1 9 を形成することができる。また、この n 側電極 1 9 を T i / P t / A u 構造の金属積層膜により形成する場合には、n 型 G a N 層 1 2 を通して外部に光が放射されるようにするため、図 1 5 に示すように、六角錐形状の部分に対応する部分における n 側電極 1 9 に開口部 1 9 a を設ける。

#### 【 0 0 5 1 】

この第 3 の実施形態によれば、第 1 の実施形態と同様な利点を得ることができる。



**【0052】**

次に、この発明の第4の実施形態による画像表示装置について説明する。この画像表示装置を図16に示す。

図16に示すように、この画像表示装置においては、サファイア基板11の面内の互いに直交するx方向およびy方向にGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオードが規則的に配列され、Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオードの二次元アレイが形成されている。各Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオードの構造は、例えば第1の実施形態と同様である。

y方向には、赤色(R)発光用のGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオード、緑色(G)発光用のGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオードおよび青色(B)発光用のGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオードが隣接して配列され、これらの3つのGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオードにより1画素が形成されている。x方向に配列された赤色発光用のGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオードのp側電極20同士は配線23により互いに接続され、同様に、x方向に配列された緑色発光用のGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオードのp側電極20同士は配線24により互いに接続され、x方向に配列された青色発光用のGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオードのp側電極20同士は配線25により互いに接続されている。一方、n側電極19はy方向に延在しており、y方向に配列されたGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオードの共通電極となっている。

**【0053】**

このように構成された単純マトリクス方式の画像表示装置においては、表示すべき画像の信号に応じて配線23～25とn側電極19とを選択し、選択された画素の選択されたGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオードに電流を流して駆動し、発光を起こさせることにより、画像を表示することができる。

**【0054】**

この第4の実施形態によれば、各Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオードが第1の実施形態によるGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>系発光ダイオードと同様な構成を有することにより発光効率が高いため、高輝度のフルカラー画像表示装置を実現することができる。

**【0055】**

次に、この発明の第5の実施形態による照明装置について説明する。この照明装置は図16に示す画像表示装置と同様な構成を有する。

この照明装置においては、照明光の色に応じて配線 23～25 と n 側電極 19 とを選択し、選択された画素の選択された GaN 系発光ダイオードに電流を流して駆動し、発光を起こさせることにより、照明光を発生させることができる。

#### 【0056】

この第 5 の実施形態によれば、各 GaN 系発光ダイオードが第 1 の実施形態による GaN 系発光ダイオードと同様な構成を有することにより発光効率が高いため、高輝度の照明装置を実現することができる。

#### 【0057】

図 17～図 22 はこの発明の第 6 の実施形態による GaN 系発光ダイオードの製造方法を工程順に示し、各図の A は斜視図、B は断面図である。また、図 23 はこの GaN 系発光ダイオードの完成状態を示す断面図である。

#### 【0058】

この第 6 の実施形態においては、第 1 の実施形態と同様にして、図 17 に示すように、開口部 13 を有する成長マスク 14 まで形成する。

次に、図 18 に示すように、第 1 の実施形態と同様に、開口部 13 における n 型 GaN 層 12 上に n 型 GaN 層 15 を六角錐形状に成長させるが、この場合、この六角錐が閉じる前に n 型 GaN 層 15 の成長を止め、六角錐台形状とする。この六角錐台形状の n 型 GaN 層 15 においては、その 6 つの側面は S 面からなり、上面は C 面からなる。この六角錐台形状の n 型 GaN 層 15 の大きさは、必要に応じて決められるが、例えば 10  $\mu$ m 程度であり、その高さは例えば 5～10  $\mu$ m 程度である。

#### 【0059】

次に、図 19 に示すように、第 1 の実施形態と同様にして、成長マスク 14 をエッチング除去する。このようにして、n 型 GaN 層 12 上に六角錐台形状の n 型 GaN 層 15 が形成された GaN 加工基板が得られる。

#### 【0060】

次に、この GaN 加工基板を MOCVD 装置の反応管に入れ、第 1 の実施形態と同様に、表面の清浄化に続いて、図 20 に示すように、この GaN 加工基板上に、例えば InGaIn 系の活性層 16 および p 型不純物として例えば Mg がドー

ブされた p 型 GaN 層 17 を、好適には  $10\ \mu\text{m/h}$  より遅い成長速度で順次成長させる。これによって、六角錐台形状の n 型 GaN 層 15 とその上面および傾斜結晶面に成長した活性層 16 および p 型 GaN 層 17 とにより、ダブルヘテロ構造の発光ダイオード構造が形成される。

#### 【0061】

ここで重要なことは、第 1 の実施形態と同様に、活性層 16 および p 型 GaN 層 17 の成長時には、成長マスク 14 が存在しないことである。このため、成長マスク 14 として SiO<sub>2</sub> 膜が用いられても、p 型 GaN 層 17 の成長時に、その Si が脱離して成長層に取り込まれる問題が本質的に存在しない。また、レジストによる汚染の問題が存在しないことも同様である。

#### 【0062】

次に、上述のようにして GaN 系半導体層を成長させたサファイア基板 11 を MOCVD 装置から取り出す。

次に、第 1 の実施形態と同様にして、p 型 GaN 層 17 および活性層 16 に開口部 18 を形成し、この開口部 18 に n 型 GaN 層 12 を露出させ、この開口 18 を通じて n 型 GaN 層 12 にコンタクトした n 側電極 19 を形成する。

#### 【0063】

次に、同様にして、六角錐台形状の上面の n 型 GaN 層 15 の上に成長した活性層 16 および p 型 GaN 層 17 の上面に、例えば Ni/Pt/Au 構造の p 側電極 20 を形成する。ここで、この p 側電極 20 は、好適には、六角錐台の上面と側面との間の角部の上を避けるように形成する。これは、この角部の近傍の活性層 16 および p 型 GaN 層 17 の結晶性は他の部分に比べて悪いことが多いためである。

#### 【0064】

この後、上述のようにして発光ダイオード構造が形成された基板を RIE によるエッチングやダイサーなどによりチップ化する。チップ化された GaN 系発光ダイオードを図 22 に示す。図 23 に完成状態の GaN 系発光ダイオードの断面図を示す。

上記以外のことは、第 1 の実施形態と同様である。

## 【0065】

活性層 16 および p 型 GaN 層 17 の成長直後の GaN 加工基板の表面を撮影した走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真を図 24 に示す。比較のため、図 25 に、従来の製造方法による GaN 加工基板の表面を撮影した SEM 写真を示す。図 24 より、成長マスクの除去後の成長では、ピットが埋められて平坦性が向上し、極めて良好な成長層が得られていることが分かる。

## 【0066】

このようにして製造された GaN 系発光ダイオードの p 側電極 20 と n 側電極 19 との間に電流を流して駆動したところ、活性層 16 の In 組成に応じて発光波長 380 ~ 620 nm の範囲で、サファイア基板 11 を通した発光を確認することができた。

## 【0067】

この第 6 の実施形態によれば、第 1 の実施形態と同様に、SiO<sub>2</sub> からなる成長マスク 14 の開口部 13 における n 型 GaN 層 12 上に六角錐台形状の n 型 GaN 層 15 を選択成長させてから成長マスク 14 をエッチング除去し、その後に活性層 16 および p 型 GaN 層 17 を成長させるようにしていることにより、p 型 GaN 層 17 の成長時に成長マスク 14 から Si が脱離して成長層に取り込まれる問題が根本的に解消される。このため、十分に Mg がドーピングされた低比抵抗の p 型 GaN 層 17 を得ることができ、ひいては GaN 系発光ダイオードの発光効率の向上を図ることができる。

## 【0068】

また、六角錐台形状の n 型 GaN 層 15 の C 面からなる上面に成長する活性層 16 および p 型 GaN 層 17 の結晶性は非常に良好であることに加えて、この p 型 GaN 層 17 の C 面からなる上面に周辺の角部から離して p 側電極 20 を形成しているので、結晶性が非常に良好な活性層 16 からのみ発光を起こさせることができる。このため、高い発光効率を得ることができる。

## 【0069】

更に、n 側電極 19 の形成のために p 型 GaN 層 17 および活性層 16 に RIE のようなドライエッチングにより開口部 18 を形成したり、集積型半導体発光

装置を製造する場合に素子間を分離するために p 型 GaN 層 17 および活性層 16 を R I E のようなドライエッチングによりエッチングしたりすると、その部分の活性層 16 に損傷が発生するのを避けることが難しいが、この損傷が発生する部分は実際に発光が起きる部分（p 側電極 20 とその近傍の  $2 \sim 5 \mu\text{m}$  の範囲）から十分に離れているため、発光特性に何ら悪影響を及ぼさない。

#### 【0070】

また、六角錐台形状の n 型 GaN 層 15 の段差の高さをある程度取ることにより、その上面の活性層 16 から発生した光を六角錐台の側面で下方に反射させることができ、光の取り出し効率を高くすることができ、発光効率を高くすることができる。更に、p 側電極 20 として Ni / Pt / Au 構造のものをを用いる代わりに、反射率の高い金属膜、例えば銀（Ag）膜などを用いることにより、六角錐台形状の p 型 GaN 層 17 の上面での反射率を高くすることができ、光の取り出し効率を高くすることができ、発光効率を高くすることができる。

#### 【0071】

次に、この発明の第 7 の実施形態による GaN 系発光ダイオードについて説明する。

この第 7 の実施形態においては、第 6 の実施形態と同様に工程を進めて p 型 GaN 層 17 まで成長させた後、p 型 GaN 層 17 の上面に p 側電極 20 を形成する。次に、サファイア基板 11 の裏面側から例えばエキシマーレーザなどによるレーザビームを照射することにより、サファイア基板 11 から、n 型 GaN 層 12 から上の部分を剥離して分離する。次に、このようにして剥離された n 型 GaN 層 12 の裏面をエッチングなどにより平坦化した後、図 26 に示すように、n 型 GaN 層 12 の裏面に n 側電極 19 を形成する。この n 側電極 19 は例えば ITO などからなる透明電極としてもよく、この場合は六角錐形状の部分に対応する部分を含む n 型 GaN 層 12 の裏面の広い面積にわたって n 側電極 19 を形成することができる。また、この n 側電極 19 を Ti / Pt / Au 構造の金属積層膜により形成する場合には、n 型 GaN 層 12 を通して外部に光が放射されるようにするため、図 15 に示すように、六角錐形状の部分に対応する部分における n 側電極 19 に開口部 19a を設ける。

この第7の実施形態によれば、第1の実施形態と同様な利点を得ることができる。

#### 【0072】

次に、この発明の第8の実施形態による画像表示装置について説明する。

この画像表示装置においては、第4の実施形態による画像表示装置におけるGaN系発光ダイオードの代わりに、第6の実施形態によるGaN系発光ダイオードを用いる。その他のことは第4の実施形態と同様である。

この第8の実施形態によれば、第4の実施形態および第6の実施形態と同様な利点を得ることができる。

#### 【0073】

次に、この発明の第9の実施形態による照明装置について説明する。

この照明装置においては、第5の実施形態による照明装置におけるGaN系発光ダイオードの代わりに、第6の実施形態によるGaN系発光ダイオードを用いる。その他のことは第5の実施形態と同様である。

この第9の実施形態によれば、第5の実施形態および第6の実施形態と同様な利点を得ることができる。

#### 【0074】

以上、この発明の実施形態について具体的に説明したが、この発明は、上述の実施形態に限定されるものではなく、この発明の技術的思想に基づく各種の変形が可能である。

#### 【0075】

例えば、上述の第1～第9の実施形態において挙げた数値、材料、構造、形状、基板、原料、プロセスなどはあくまでも例に過ぎず、必要に応じて、これらと異なる数値、材料、構造、形状、基板、原料、プロセスなどを用いてもよい。

#### 【0076】

具体的には、例えば、上述の第1～第9の実施形態において、活性層16の特性を向上させるために、その近傍に光閉じ込め特性に優れたAlGaN層を設けたり、In組成の小さいInGaN層などを設けてもよい。また、必要に応じて、いわゆるボウイング(bowing)によるバンドギャップの縮小効果を得るため

に、InGa<sub>N</sub>にAlを加えてAlGaIn<sub>N</sub>としてもよい。更に、必要に応じて、活性層16とn型Ga<sub>N</sub>層15との間や活性層16とp型Ga<sub>N</sub>層17との間に光導波層を設けてもよい。

#### 【0077】

また、上述の第1～第9の実施形態においては、サファイア基板を用いているが、必要に応じて、すでに述べたSiC基板、Si基板などの他の基板を用いてもよい。更に、ELO (Epitaxial Lateral Overgrowth) やペンデオなどの横方向結晶成長技術を利用して得られる低転位密度のGa<sub>N</sub>基板を用いてもよい。

#### 【0078】

更に、上述の第1～第9の実施形態において、p側電極20の材料として例えばAuやAgなどを用いるとともに、p型Ga<sub>N</sub>層17とp側電極20との間に活性層16で発生した光の侵入長以下の厚さを有し、Ni、Pd、Co、Sbなどからなるコンタクト金属層を形成してもよい。このようにすることにより、コンタクト金属層による反射増強効果で、Ga<sub>N</sub>系発光ダイオードの発光効率のより一層の向上を図ることができる。

#### 【0079】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、この発明によれば、成長マスクを除去してから活性層および第2導電型の第3の半導体層を成長させることにより、発光効率が大幅に向上した半導体発光素子、集積型半導体発光装置、画像表示装置および照明装置を容易に製造することができる。

#### 【0080】

また、上述のように構成されたこの発明によれば、第2の電極の大きさが、活性層および第2導電型の半導体層が積層された結晶部の大きさの50%以下であることにより、発光効率が大幅に向上した半導体発光素子、集積型半導体発光装置、画像表示装置および照明装置を提供することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

#### 【図1】

この発明の第1の実施形態によるGa<sub>N</sub>系発光ダイオードの製造方法を説明す

るための斜視図および断面図である。

【図 2】

この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法を説明するための斜視図および断面図である。

【図 3】

この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法を説明するための斜視図および断面図である。

【図 4】

この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法を説明するための斜視図および断面図である。

【図 5】

この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法を説明するための斜視図および断面図である。

【図 6】

この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法を説明するための斜視図および断面図である。

【図 7】

この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの断面図である。

【図 8】

この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの電流－光特性を示す略線図である。

【図 9】

この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの電流－電圧特性を p 側電極のサイズをパラメータにして示す略線図である。

【図 10】

この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの電流－光特性を p 側電極のサイズをパラメータにして示す略線図である。

【図 11】

この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの p 側電極のサイズ



と発光効率との関係を示す略線図である。

【図 1 2】

この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードにおいて p 側電極のサイズを小さくする理由を説明するための略線図である。

【図 1 3】

この発明の第 2 の実施形態による G a N 系発光ダイオードを示す断面図である。

【図 1 4】

この発明の第 3 の実施形態による G a N 系発光ダイオードを示す断面図である。

【図 1 5】

この発明の第 3 の実施形態による G a N 系発光ダイオードを n 側電極から見た斜視図である。

【図 1 6】

この発明の第 4 の実施形態による画像表示装置を示す斜視図である。

【図 1 7】

この発明の第 6 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法を説明するための斜視図および断面図である。

【図 1 8】

この発明の第 6 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法を説明するための斜視図および断面図である。

【図 1 9】

この発明の第 6 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法を説明するための斜視図および断面図である。

【図 2 0】

この発明の第 6 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法を説明するための斜視図および断面図である。

【図 2 1】

この発明の第 6 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法を説明す

るための斜視図および断面図である。

【図 2 2】

この発明の第 6 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法を説明するための斜視図および断面図である。

【図 2 3】

この発明の第 6 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの断面図である。

【図 2 4】

この発明の第 6 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法において発光素子構造を形成した直後の G a N 加工基板の表面の状態を示す図面代用写真である。

【図 2 5】

従来の G a N 系発光ダイオードの製造方法において発光素子構造を形成した直後の G a N 加工基板の表面の状態を示す図面代用写真である。

【図 2 6】

この発明の第 7 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの断面図である。

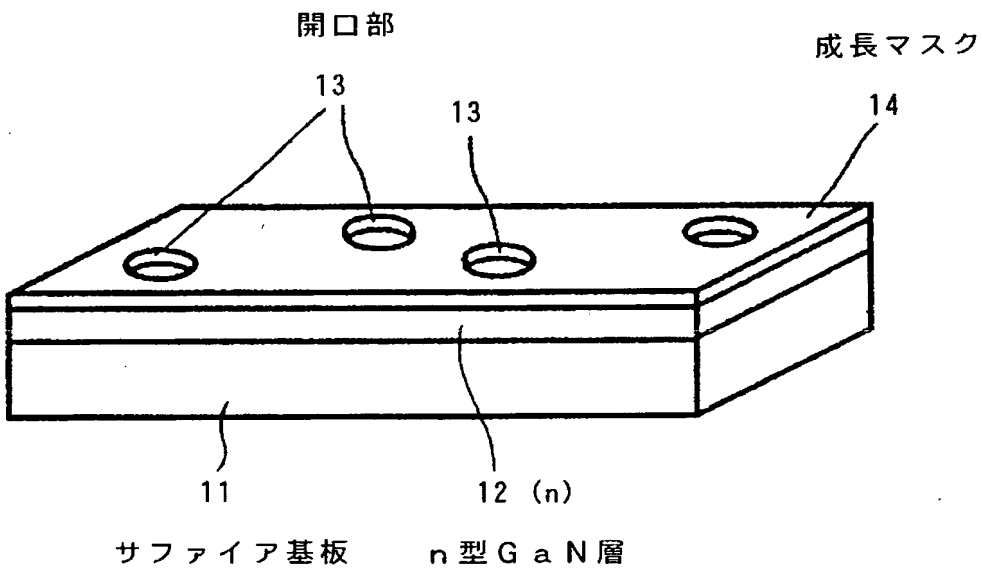
【符号の説明】

1 1 . . . サファイア基板、1 2 . . . n 型 G a N 層、1 3 . . . 開口部、1 4 . . . 成長マスク、1 5 . . . n 型 G a N 層、1 6 . . . 活性層、1 7 . . . p 型 G a N 層、1 8 . . . 開口部、1 9 . . . n 側電極、2 0 . . . p 側電極、2 3、2 4、2 5 . . . 配線

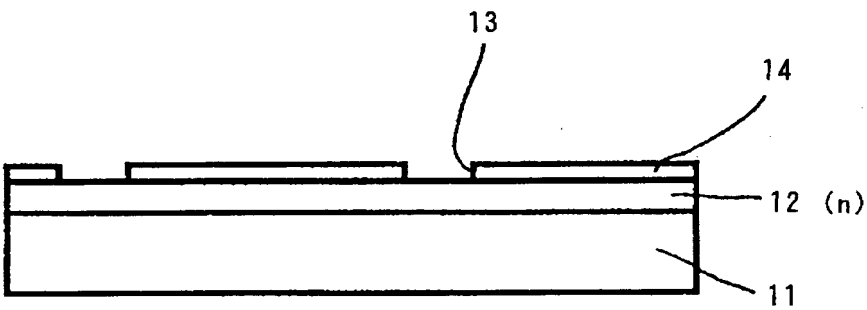
【書類名】 図面

【図 1】

A

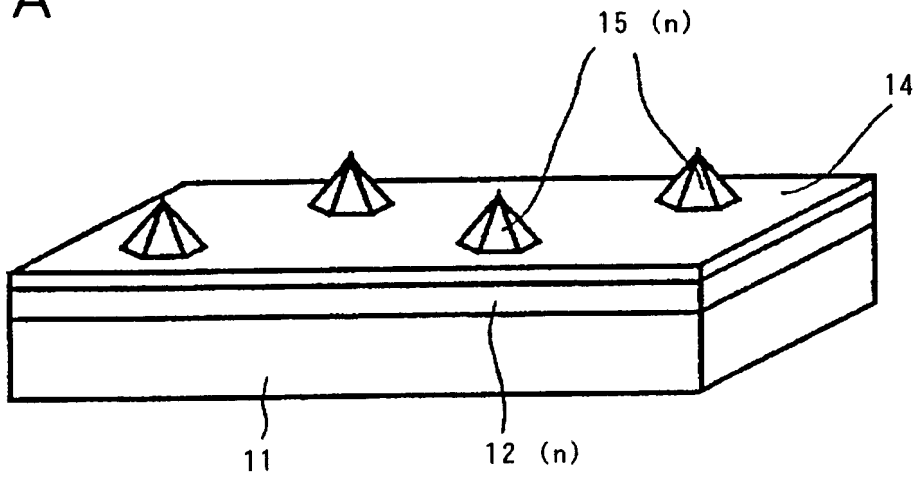


B

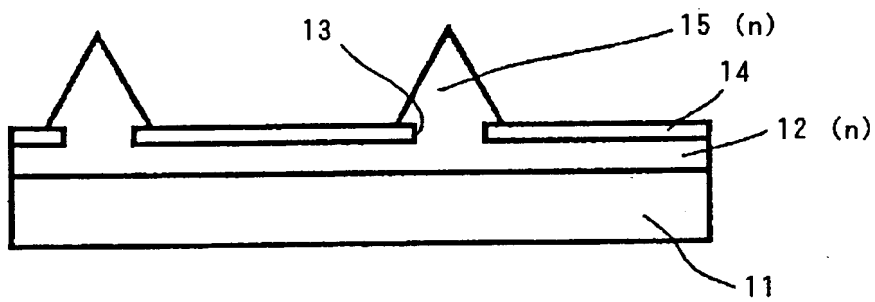


【図 2】

A

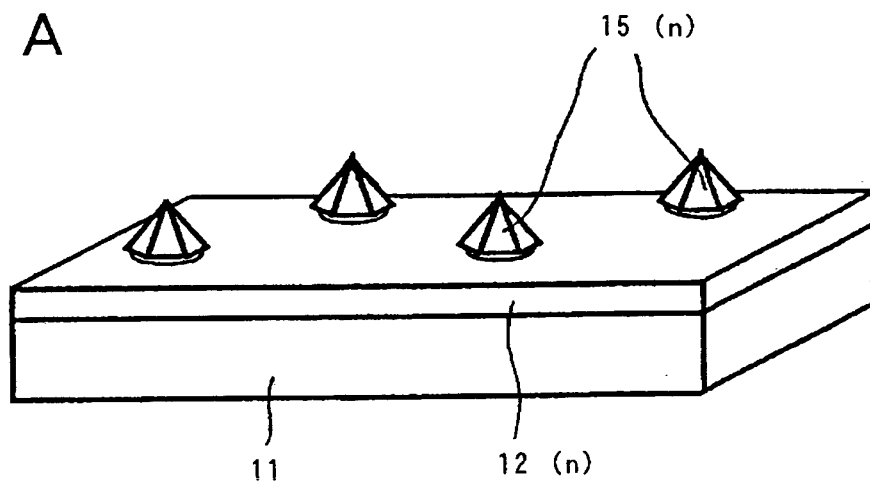


B

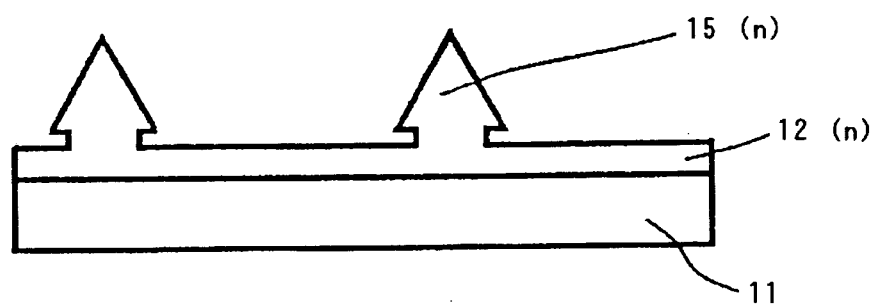


【図 3】

A

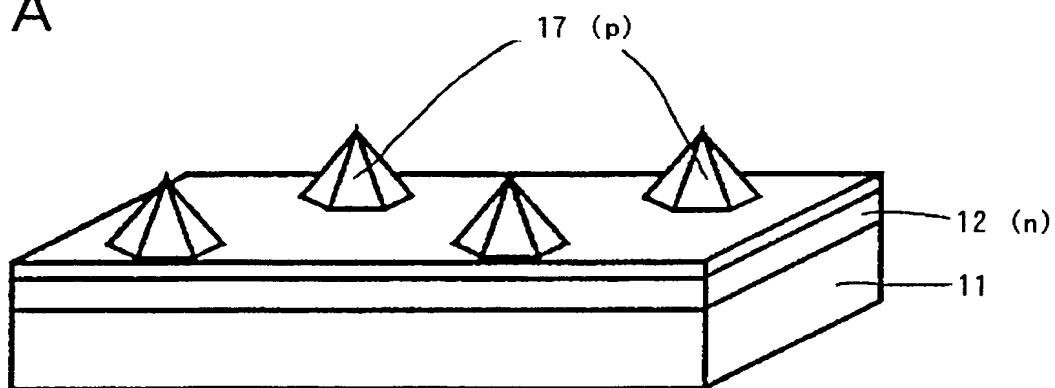


B

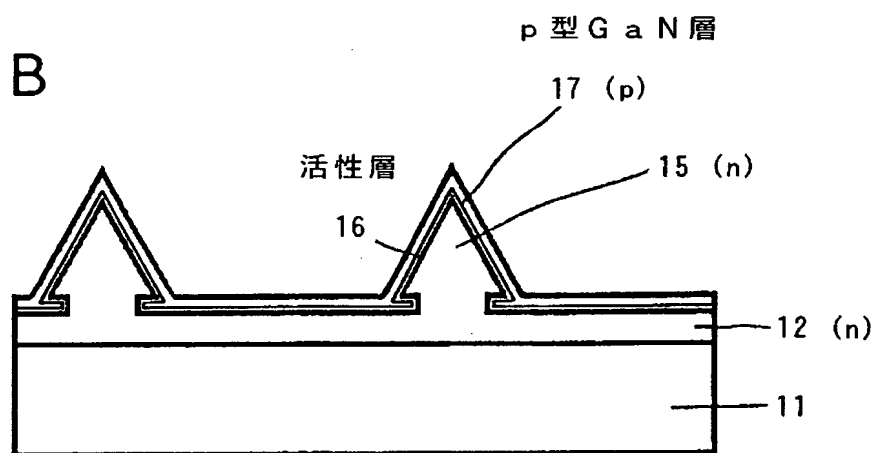


【図 4】

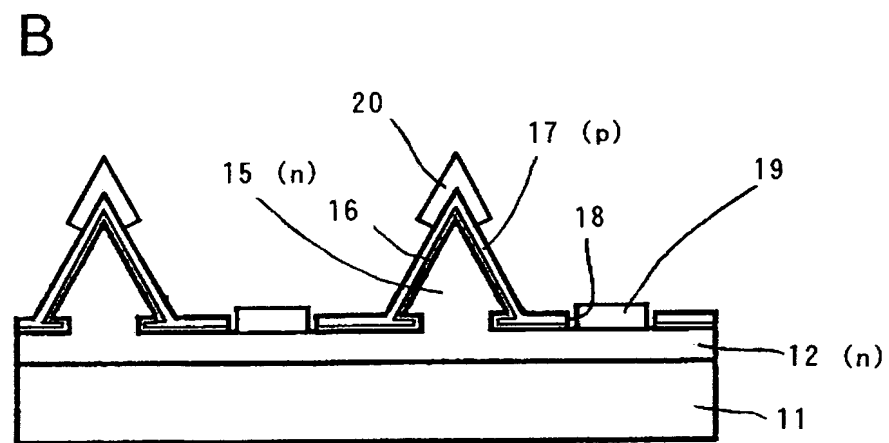
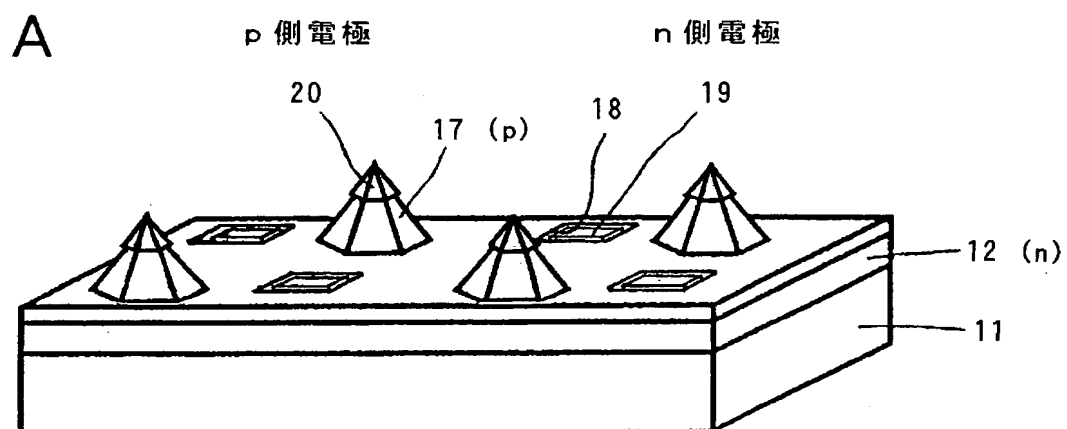
A



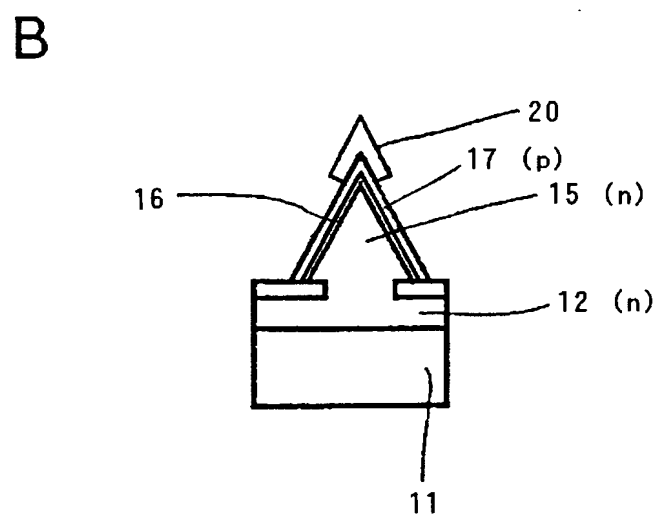
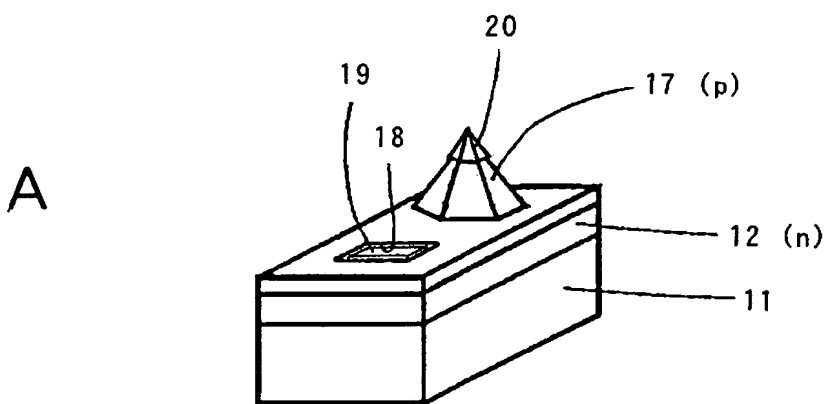
B



【図 5】

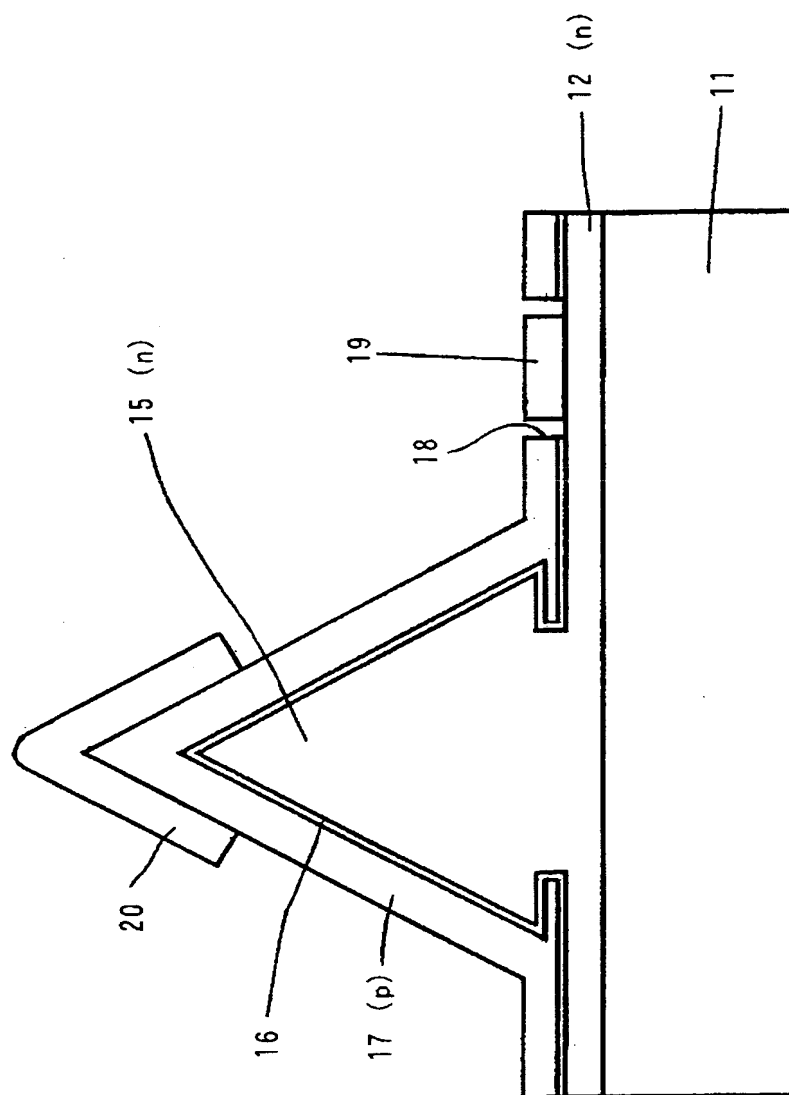


【図 6】

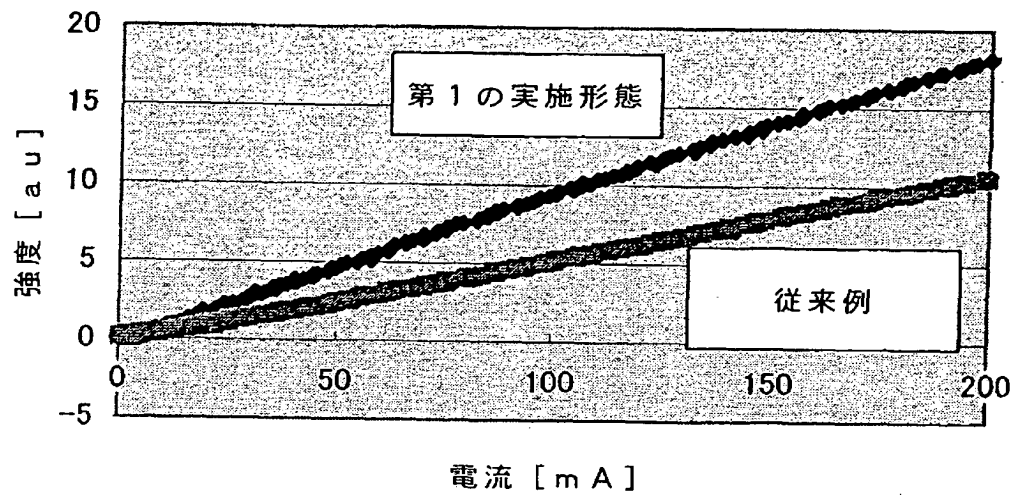




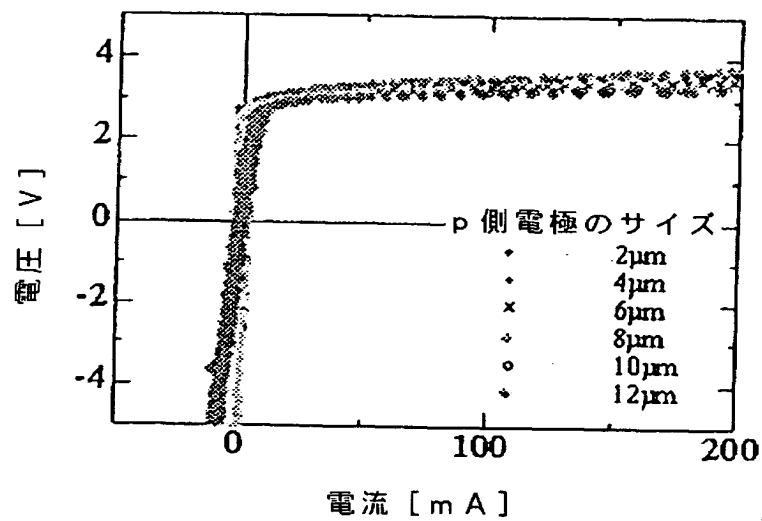
【図 7】



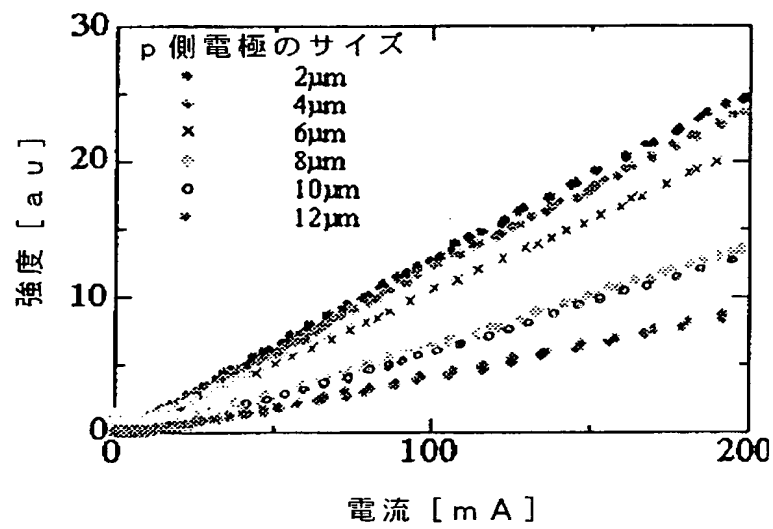
【図 8】



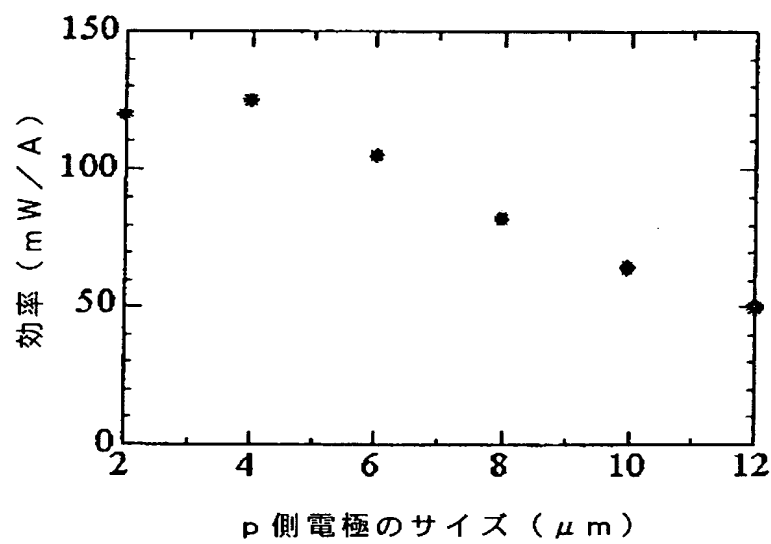
【図 9】



【図 10】

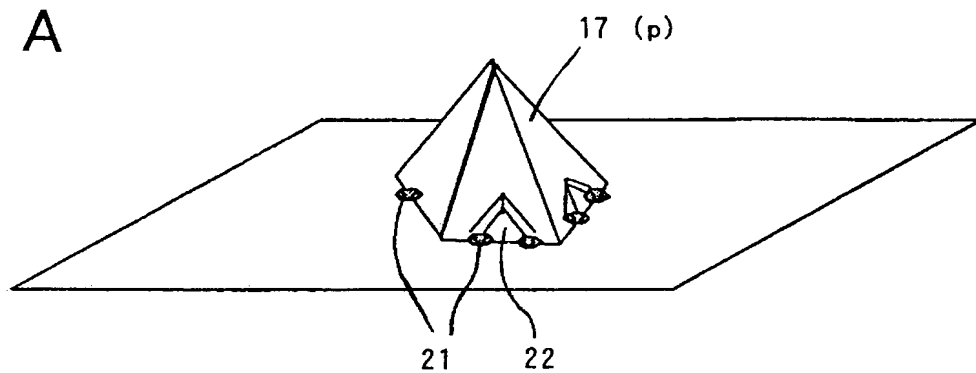


【図 11】



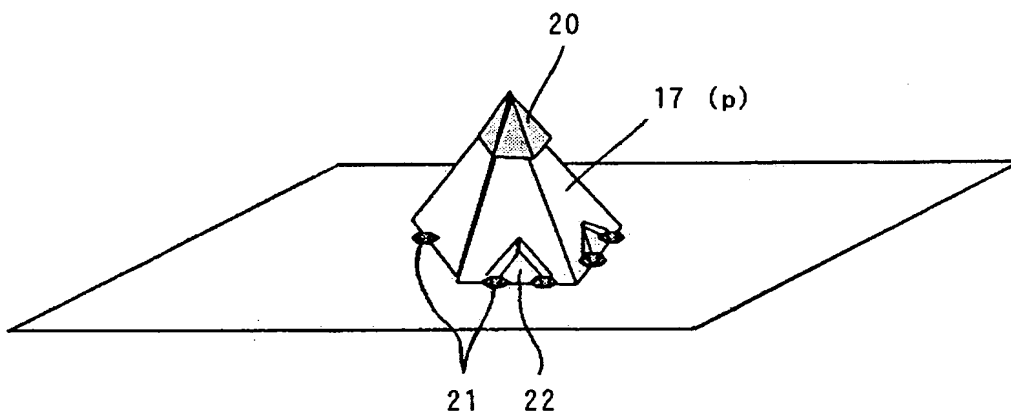
【図 12】

A

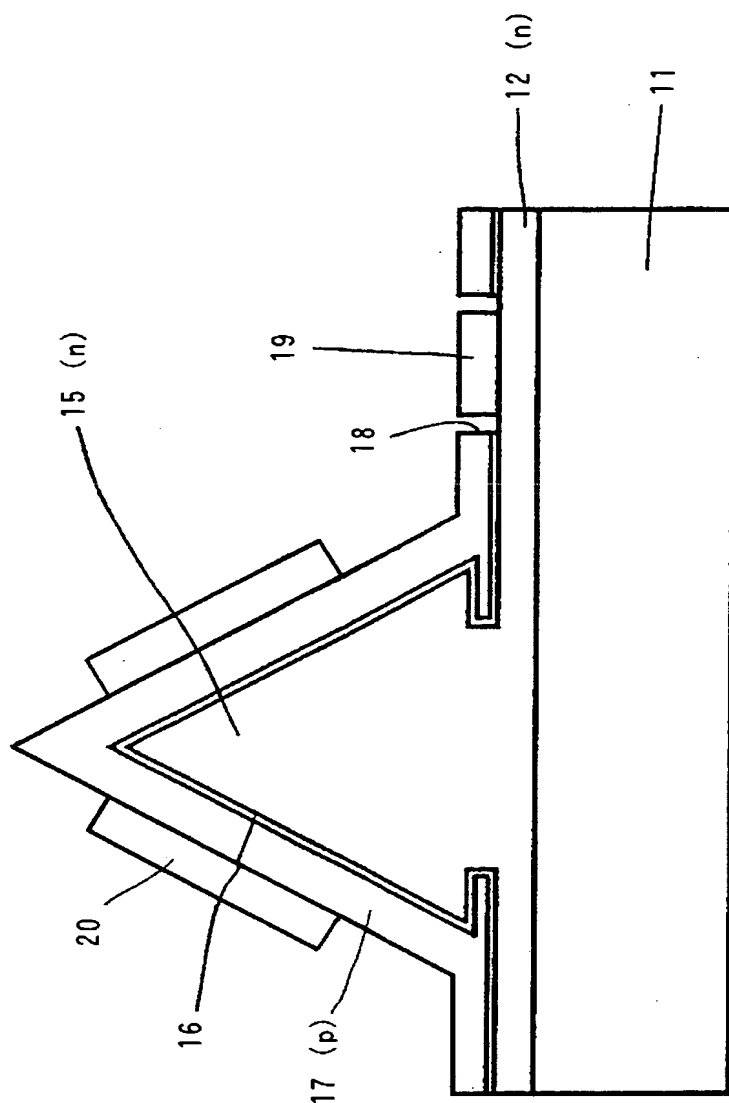


ピット 異常成長部

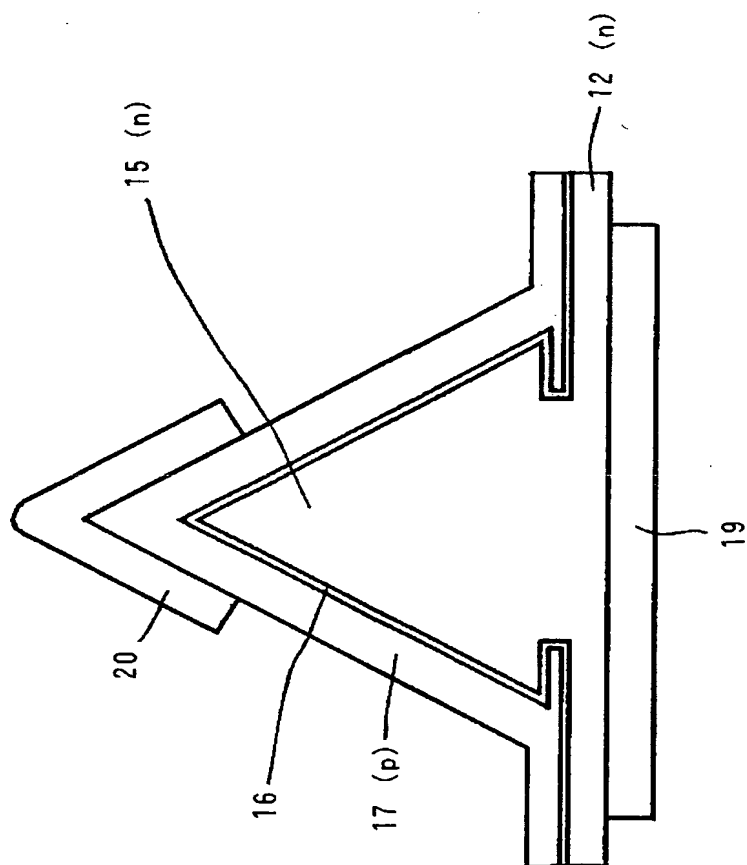
B



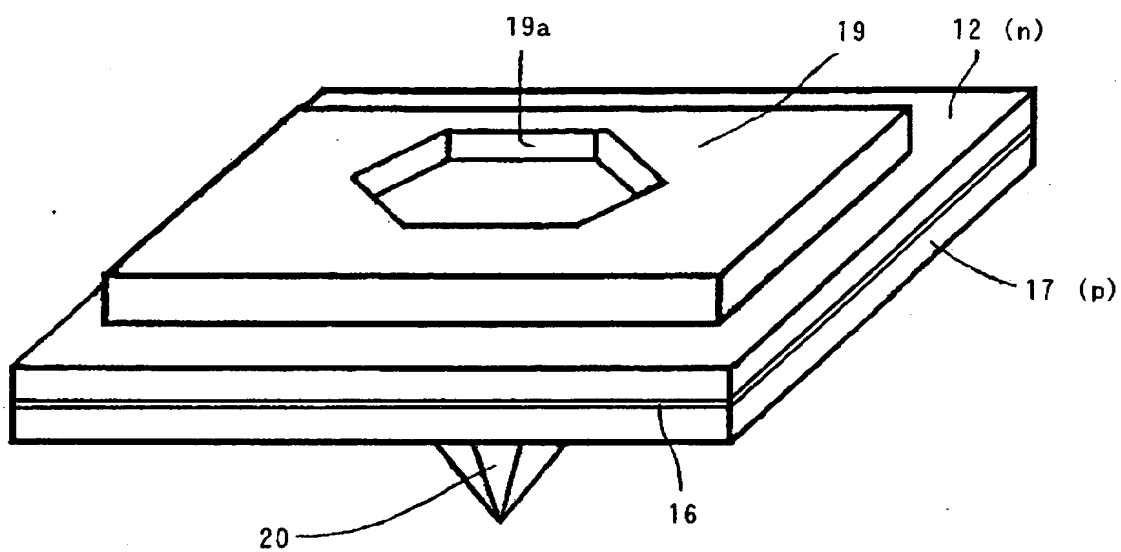
【図 13】



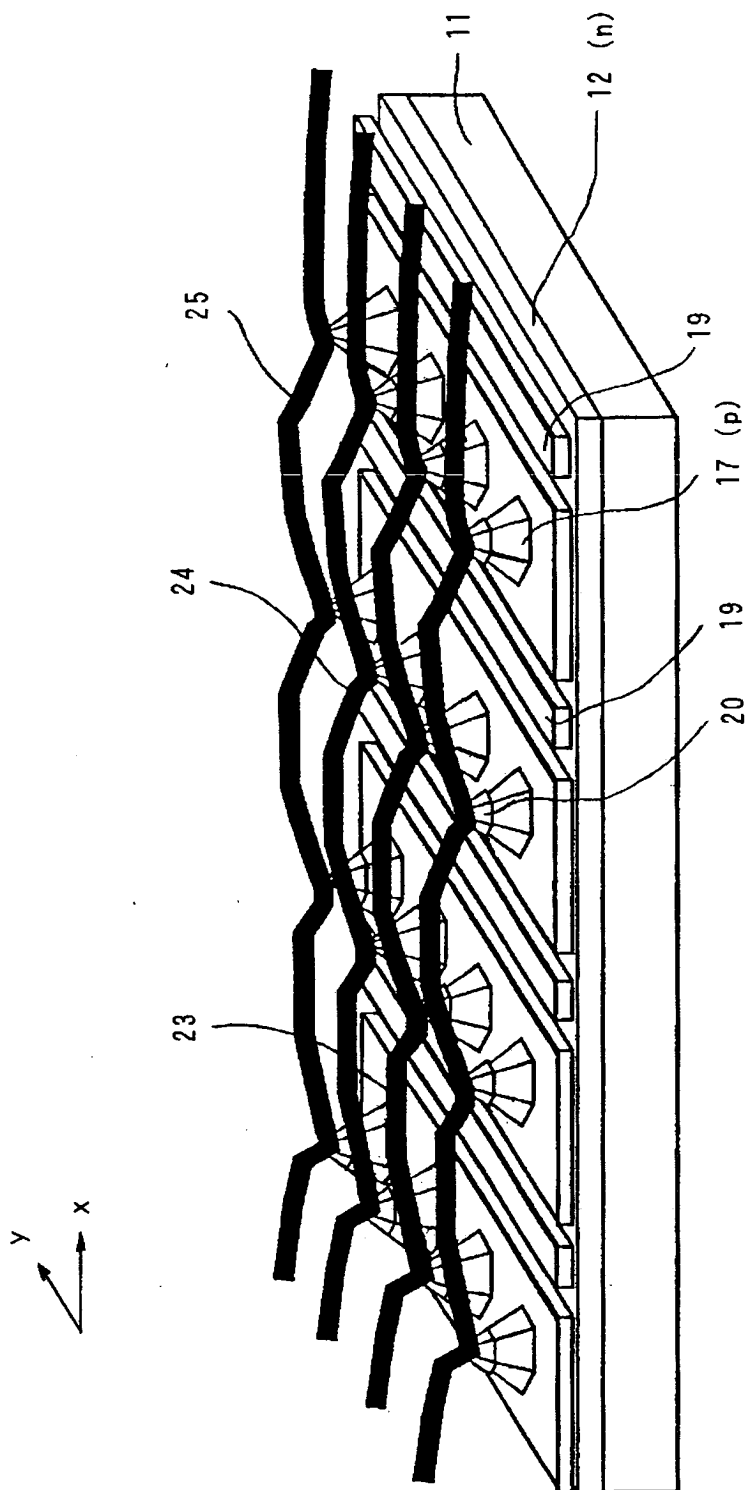
【図 14】



【図 15】

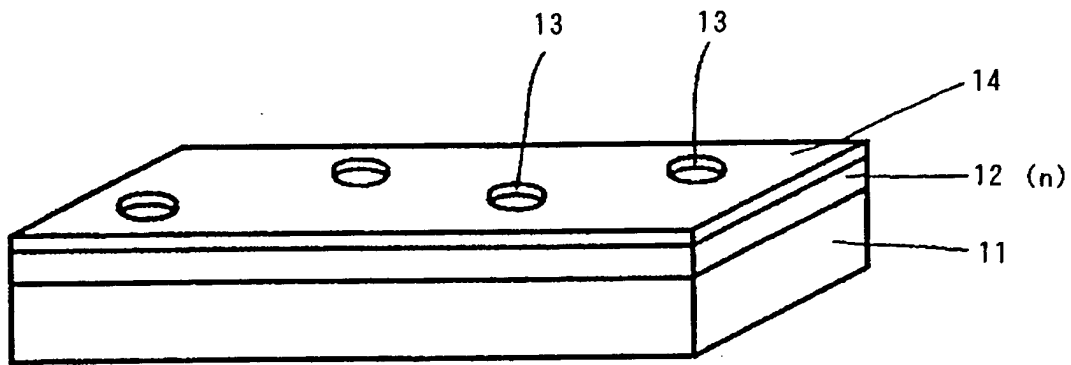


【図 16】

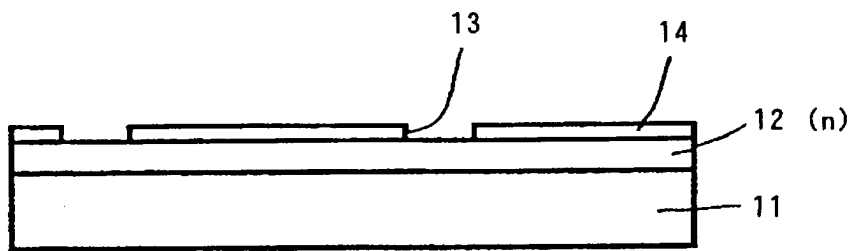


【図 17】

A



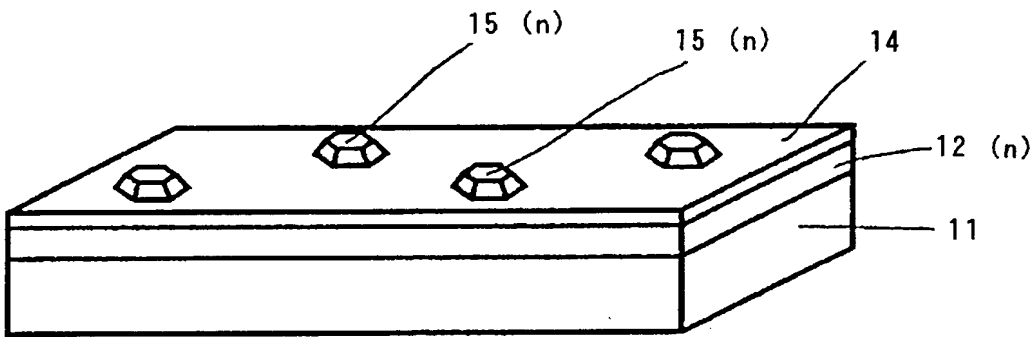
B



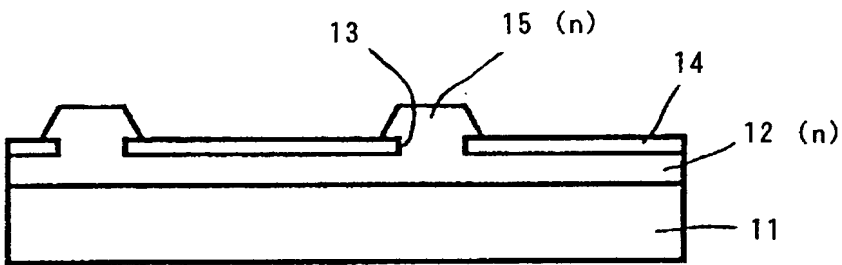


【図 18】

A

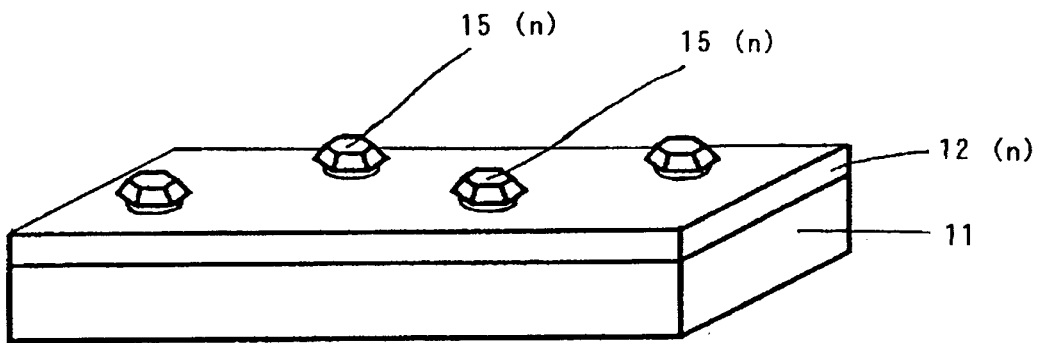


B

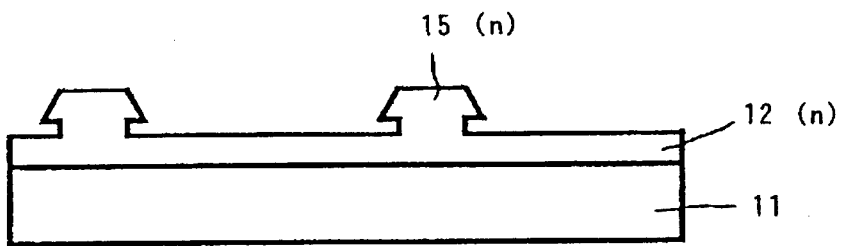


【図 1 9】

A

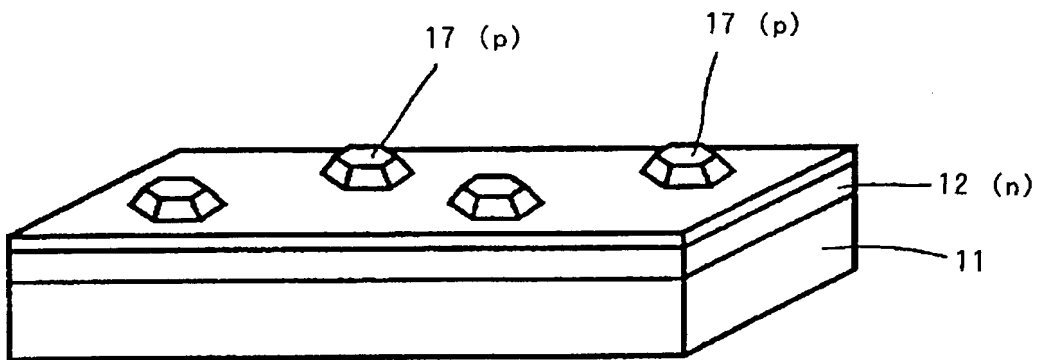


B

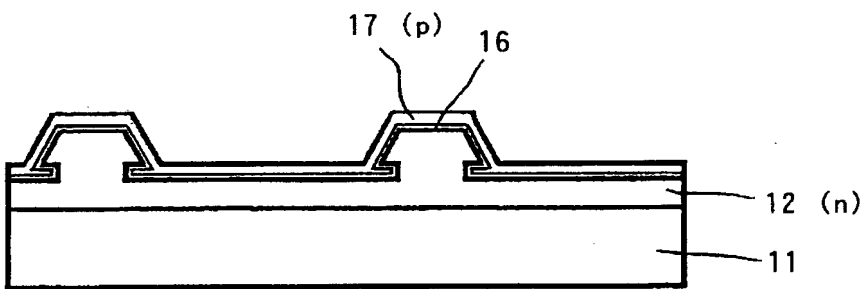


【図 2 0】

A

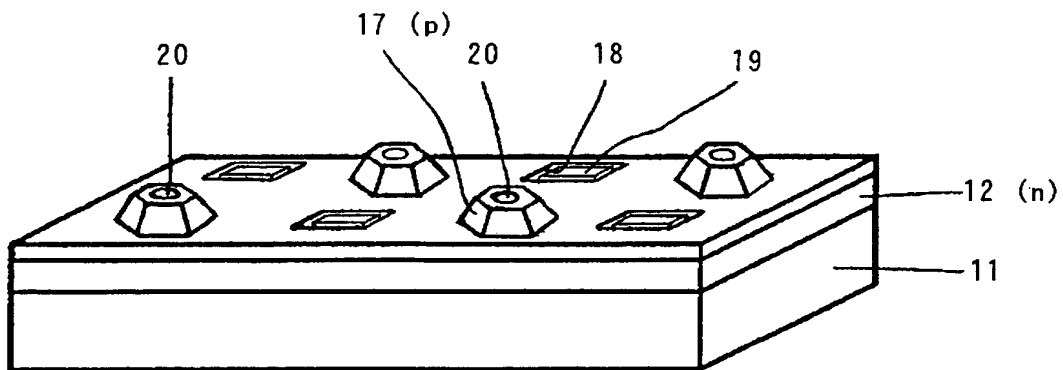


B

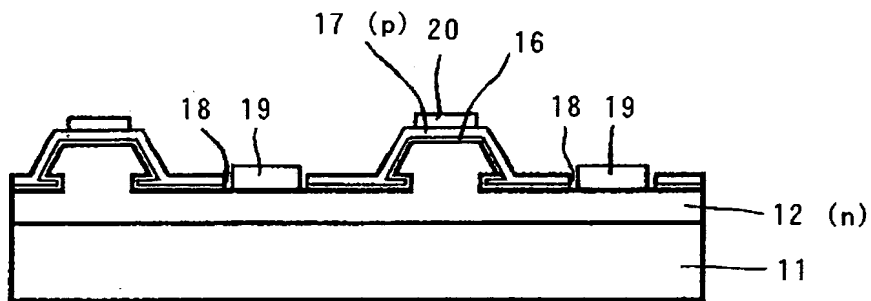


【図 21】

A

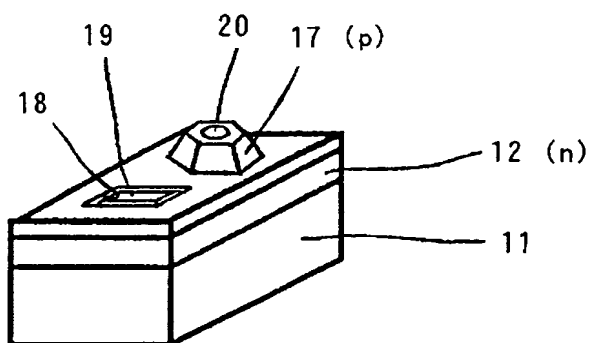


B

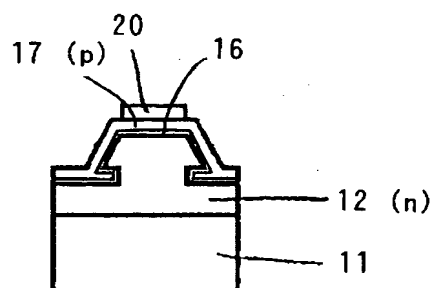


【図 2 2】

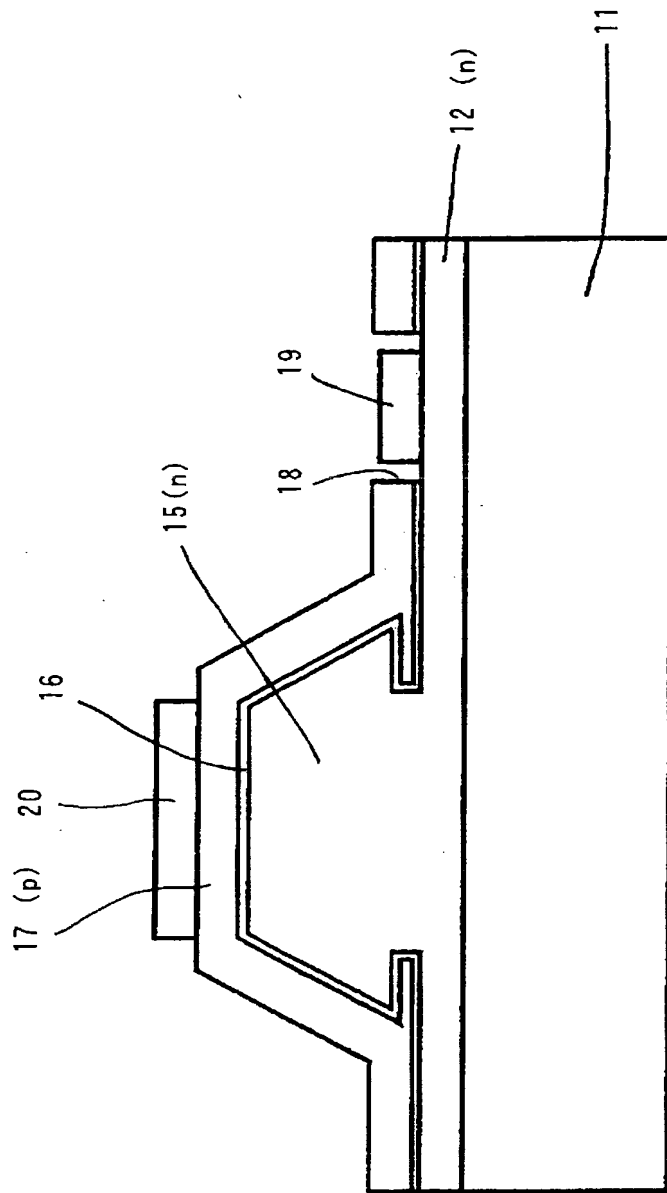
A



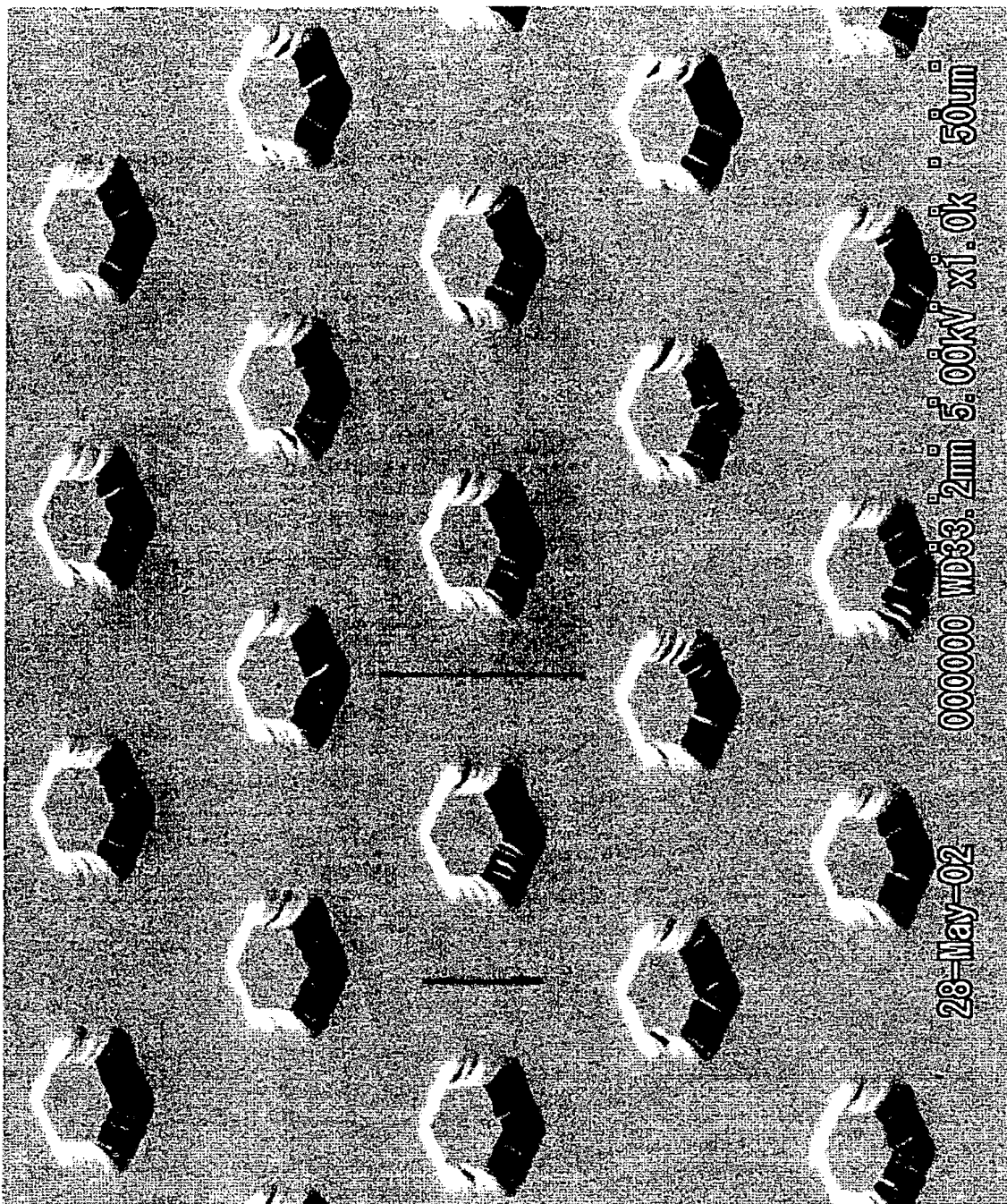
B



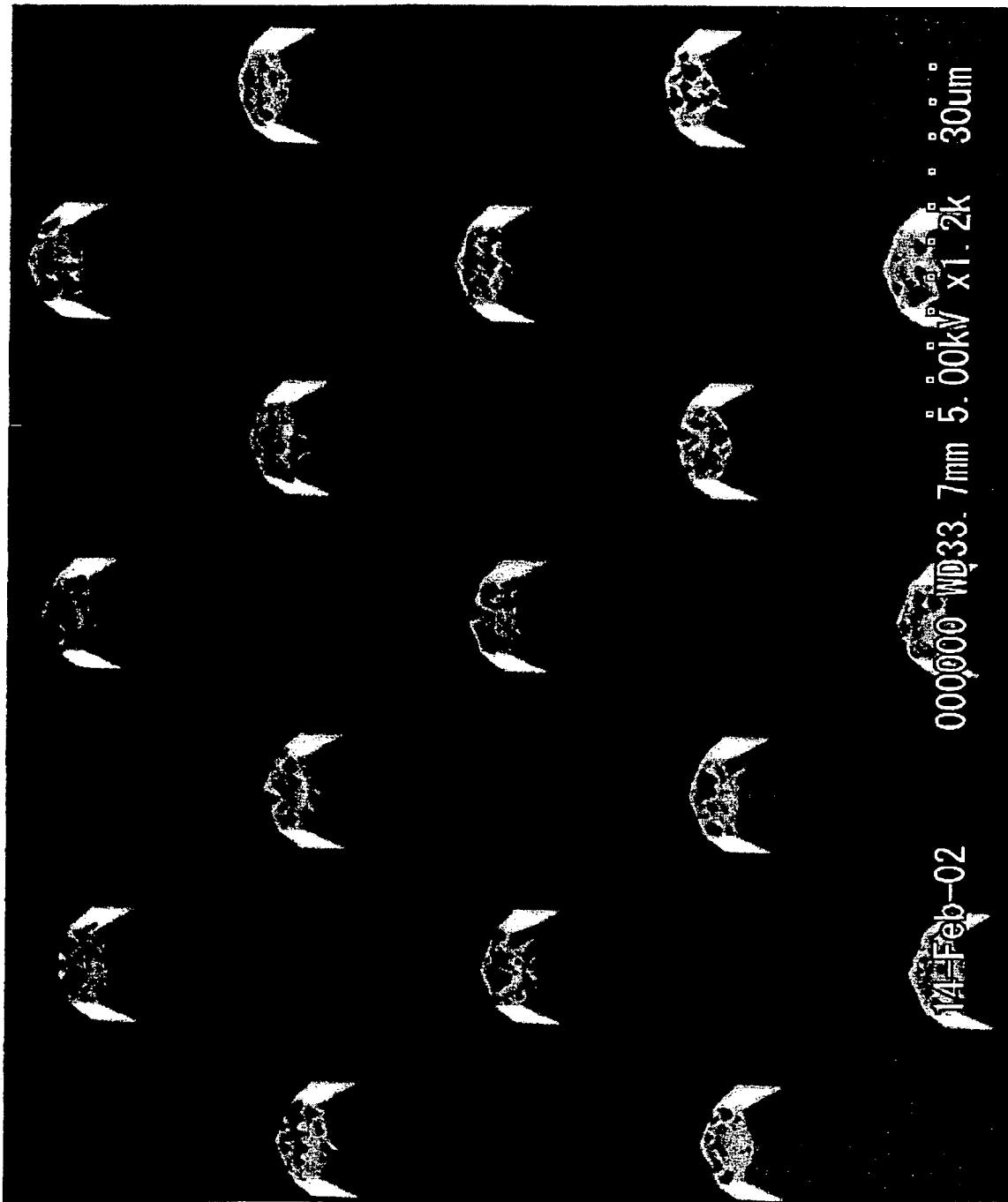
【図 23】



【図 24】

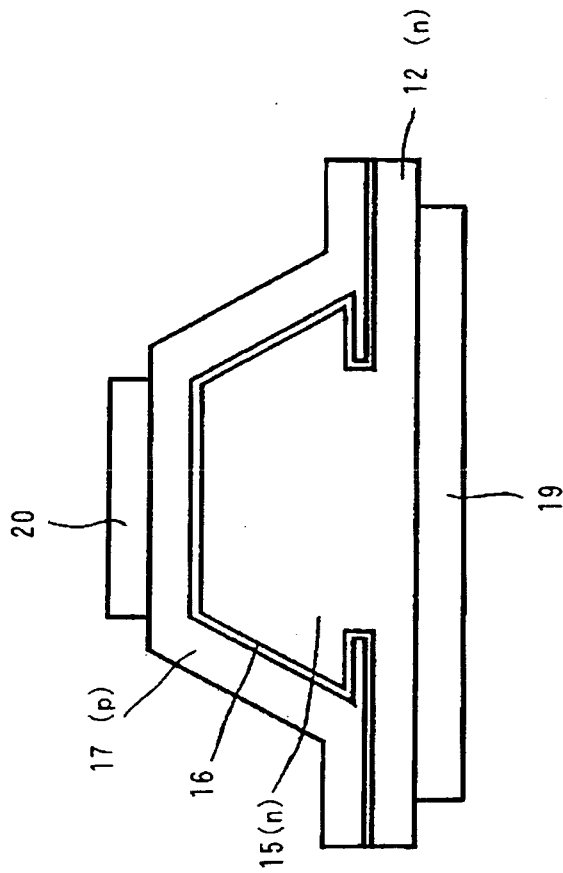


【図 25】





【図 26】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 発光効率が大幅に向上した半導体発光素子を実現する。

【解決手段】 サファイア基板 1 1 上に n 型 G a N 層 1 2 を成長させ、その上に S i O<sub>2</sub> 膜などにより成長マスクを形成する。成長マスクの開口部における n 型 G a N 層 1 2 上に六角錐形状の n 型 G a N 層 1 5 を選択成長させる。成長マスクをエッチング除去した後、n 型 G a N 層 1 5 を覆うように基板全面に活性層 1 6 および p 型 G a N 層 1 7 を順次成長させ、発光素子構造を形成する。この後、n 側電極 1 9 および p 側電極 2 0 を形成する。

【選択図】 図 7

特願 2 0 0 2 - 2 6 1 4 0 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 2 1 8 5 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号

氏 名

ソニー株式会社

2. 変更年月日

2 0 0 3 年 5 月 1 5 日

[変更理由]

名称変更

住所変更

住 所

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号

氏 名

ソニー株式会社